

**RESPON SAMBUNGAN PELAT BAUT PADA KUDA-KUDA BETON  
KOMPOSIT TULANGAN BAMBU TERHADAP VARIASI BEBAN  
VERTIKAL DAN HORIZONTAL**

**SKRIPSI**  
**TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SHABRINA BELLA CARINA RIANDO**  
**NIM. 135060100111003**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

### RESPON SAMBUNGAN PELAT BAUT PADA KUDA-KUDA BETON KOMPOSIT TULANGAN BAMBU TERHADAP VARIASI BEBAN VERTIKAL DAN HORIZONTAL

#### SKRIPSI

#### TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SHABRINA BELLA CARINA RIANDO**  
**NIM. 135060100111003**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
Pada tanggal 30 Januari 2018

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.**  
NIP. 19511211 198103 2 001

**Dr.Eng. Lilya Susanti, ST., MT.**  
NIK. 201102 850221 2 001

**Mengetahui,**  
**Ketua Program Studi S1**

**Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng(Prac.)**  
NIP. 19810220 200604 1 002

## **HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI**

Judul Skripsi:

Respon Sambungan Pelat Baut pada Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu terhadap Variasi Beban Vertikal dan Horizontal

Nama Mahasiswa : Shabrina Bella Carina Riando

NIM : 135060100111003

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

### **TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji I : Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS

Dosen Penguji II : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT.

Dosen Penguji III : Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT

Tanggal Ujian : 24 Januari 2018

SK Penguji : 165/UN10.F07/SK/2018

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang,

Mahasiswa,

**Shabrina Bella Carina Riando**

NIM. 135060100111003



## **RIWAYAT HIDUP**

Shabrina Bella Carina Riando lahir di Mataram, 10 Mei 1995. Anak pertama dari tiga bersaudara dari Bapak Ir. Miki Riando dan Ibu Baiq Widyawati. Menjalani pendidikan di SDI Al-Azhar 2 Pasar Minggu pada tahun 2001 hingga tahun 2007. Lalu melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPI Al-Azhar 2 Pejaten pada tahun 2007 hingga 2010 dan melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 46 Jakarta pada tahun 2010 hingga 2013. Kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Universitas Brawijaya Malang pada tahun 2013 dan lulus pada tahun 2018

Selama perkuliahan pernah berpartisipasi sebagai Asisten Tugas Besar Analisis Struktur I pada tahun 2015 dan Asisten Tugas Besar Mekanika Bahan pada tahun 2016. Dan berpartisipasi dalam kegiatan kepanitiaan yang dilaksanakan oleh Himpunan Mahasiswa Sipil. Selain itu, juga menjadi anggota organisasi Himpunan Mahasiswa Sipil pada periode 2014/2015, lalu menjadi ketua divisi Pendidikan dan Penalaran pada periode 2015/2016, dan kemudian menjadi wakil ketua Departemen Akademis pada periode 2016/2017.

Malang, Januari 2018

Penulis



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah S.W.T, karena atas rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Respon Sambungan Pelat Baut Pada Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Terhadap Variasi Beban Vertikal dan Horizontal**”. Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu syarat kelulusan yang harus dipenuhi oleh mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya untuk meraih gelar sarjana serta diharapkan dapat menjadi sumbangsih bagi ilmu pengetahuan di bidang Teknik Sipil khususnya bidang konsentrasi Struktur.

Dalam menyusun skripsi ini, dengan segala kerendahan hati penulis menyadari akan kekurangan yang ada. Oleh karena itu penulisan skripsi ini telah banyak mendapat bantuan dan bimbingan, saran serta motivasi semua elemen baik langsung maupun tidak langsung. Maka dari itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT dan Ibu Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang sangat membantu kelancaran tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST, M.Eng (Prac) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang sangat membantu kelancaran tugas akhir ini.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS dan Ibu Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberi saran serta masukan kepada penulis.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing serta memberi arahan dan dukungan kepada penulis selama perkuliahan.
5. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan masukan penulis.
7. Ayah dan Mama, Rachmat Andya P.R dan Sanny Anandyaz P.R, yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk doa, semangat dan materi guna menyelesaikan penelitian ini.

8. Sahabat dan saudara seperjuangan Skripsi Kuda-Kuda, Muhammad Alangnabil, Mohammad Irvan, Dyorizky Imaduddin, dan Adam Akbar yang selalu berbagi pikiran, tenaga, dan semangat agar penelitian ini dapat berjalan lancar.
9. Sahabat-sahabat “BAWEL”, Anggun Restria, Mega Raudhatin, Irbah Mahdiah, Adella Naura, Nuur Annisa, Rahmasari Khairunnisa, Miftha Adhyanti, dan Sakila Herfiana yang selalu memberi semangat, menjadi pengingat dan pendengar yang baik selama perkuliahan.
10. Teman-teman penulis, Aditya Leo, Achmad Gusti, Reza Fahlevi, Mohammad Irvan, M. Fahrus Syaviq, Diaz Muhammad, Devina Nadia, Roizan Intifada, Ridhwan Falih, Raka Agidio, Lina Laila, Maria Veronika, Renny Amelia, Rahadian Dwi dan teman-teman sedari maba yang sudah banyak membantu selama perkuliahan, KKN-P dan proses penelitian.
11. Muhammad Alangnabil yang selalu memberikan semangat, meluangkan waktu dan mendengarkan penulis selama perkuliahan dan proses penyusunan skripsi.
12. Pengurus Inti HMS Periode 2016/2017 yang telah banyak membantu dalam proses perkuliahan dan kegiatan non akademik.
13. Teman-teman Sipil 2013 yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu membantu dan mendukung selama kegiatan perkuliahan.
14. Pak Sugeng, Pak Hadi, dan Mas Dino selaku pihak dari Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan yang telah membantu penulis selama pelaksanaan penelitian.

Penulis pun menyadari bahwa penulis tidak terlepas dari kekurangan dan keterbatasan. Begitupun dalam penyusunan tugas akhir ini, dengan kerendahan hati penulis menantikan adanya masukan, baik berupa saran maupun kritik yang dapat bersifat membangun guna penyusunan laporan-laporan yang akan datang.

Akhir kata penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat dan berguna bagi pembaca dan semua pihak yang memerlukan.

Malang, 26 Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>xiii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Batasan Masalah .....	2
1.3. Rumusan Masalah .....	3
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Manfaat .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Struktur Rangka Batang.....	5
2.1.1. Gaya Batang.....	5
2.1.2. Pembentukan Segitiga (Triangulasi).....	5
2.1.3. Stabilitas Rangka Batang.....	6
2.1.4. Keseimbangan Titik Kumpul.....	8
2.1.5. Lendutan pada Struktur Rangka Batang .....	10
2.2. Kuda-Kuda .....	11
2.3. Beton .....	12
2.3.1. Material Penyusun Beton.....	12
2.3.2. Jenis-Jenis Beton .....	18
2.4. Batu Bata.....	18

2.5.	Sistem Beton Pracetak .....	19
2.6.	Beton Bertulang .....	21
2.7.	Tulangan Bambu .....	21
2.8.	Sambungan Pracetak .....	22
2.9.	Sambungan Baut .....	30
2.9.1.	Tahanan Nominal Baut .....	30
2.10.	Pola Keruntuhan .....	31
2.11.	Hipotesis Penelitian .....	33
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>35</b>
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian .....	35
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian .....	35
3.3.	Jumlah dan Perlakuan Benda Uji .....	36
3.4.	Prosedur Penelitian .....	36
3.5.	Pemodelan Tulangan Bambu .....	37
3.6.	Pemodelan Pembebanan .....	38
3.7.	Metode Pengambilan Data .....	39
3.8.	Rancangan Penelitian .....	39
3.8.1.	Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder .....	39
3.8.2.	Pengujian Rangka Kuda-Kuda Beton .....	40
3.9.	Analisis Kuda-Kuda Beton Komposit .....	40
3.10.	Variabel Penelitian .....	40
3.11.	Diagram Alir Penelitian .....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>43</b>
4.1.	Pengujian Bahan .....	43
4.1.1.	Analisis Agregat Halus .....	43
4.1.2.	Analisis Agregat Kasar .....	43
4.1.3.	Tulangan Bambu .....	44

4.1.4. Perencanaan <i>Mix Design</i> .....	44
4.1.5. Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton.....	45
4.2.           Pengujian Pembebanan Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu ....	46
4.2.1. Pengujian Beban Vertikal Simetris Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu.....	47
4.2.2. Pengujian Beban Horizontal Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu.	48
4.3. Hasil Pengujian Pembebanan Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu.....	49
4.3.1. Berat Per Volume Benda Uji Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu	49
4.3.2. Perbandingan Berat Benda Uji Aktual dan Teoritis .....	50
4.3.3. Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Kuda-Kuda Beton Komposit.....	51
4.3.4. Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis.....	52
4.3.5. Hubungan Beban dan Deformasi di Titik Tinjau Hasil Pengujian Beban Vertikal Simetris.....	53
4.3.6. Hubungan Beban dan Deformasi di Titik Tinjau Hasil Pengujian Beban Horizontal .....	56
4.3.7. Deformasi Aktual yang Terjadi Pada Kuda-Kuda Beton Komposit .....	60
4.3.8. Perbandingan Deformasi Aktual dan Teoritis .....	62
4.4. Pembahasan .....	64
4.4.1. Pengaruh Penggunaan Sambungan Pelat Baut pada Kuda-Kuda Beton Komposit Terhadap Beban Maksimum .....	64
4.4.2. Pola Retak yang Terjadi Pada Kuda-Kuda Beton Komposit dengan Sambungan Pelat Baut.....	66
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>69</b>
5.1. Kesimpulan.....	69
5.2. Saran       70	
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>73</b>





## DAFTAR TABEL

No	Judul	
Tabel 2.1	Jenis Agregat Ringan Yang Dipilih Berdasarkan Tujuan Konstruksi .....	14
Tabel 2.2	Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural ....	14
Tabel 2.3	Persyaratan Susunan Besar Butir Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural.....	15
Tabel 2.4	Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Rata-Rata untuk Beton Ringan Struktural .....	19
Tabel 2.5	Perbandingan Sistem Konvensional Dengan Pracetak .....	20
Tabel 3.1	Form Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder .....	39
Tabel 3.2	Pengambilan Data Beban dan Lendutan .....	40
Tabel 3.3	Variabel Bebas dan Terikat Penelitian.....	40
Tabel 4.1	Hasil Analisis Agregat Halus (Pasir) .....	43
Tabel 4.2	Hasil Analisis Agregat Kasar (Batu Bata) .....	44
Tabel 4.3	Data Hasil <i>Mix Design</i> Design Beton Agregat Batu Bata .....	44
Tabel 4.4	Tabel Koreksi Umur Beton.....	45
Tabel 4.5	Karakteristik Benda Uji Silinder Beton .....	46
Tabel 4.6	Hasil Uji Kuat Tekan Silinder Beton .....	46
Tabel 4.7	Berat Per Volume Aktual Benda Uji Kuda-Kuda Beton Komposit .....	50
Tabel 4.8	Hasil Perbandingan Berat Per Volume Benda Uji Aktual dan Teoritis.....	50
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Beban Maksimum Pada Kuda-Kuda Beton.....	51
Tabel 4.10	Hasil Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis.....	52
Tabel 4.11	Hasil Perpindahan Maksimum Pengujian Beban Vertikal Simetris .....	61
Tabel 4.12	Hasil Perpindahan Maksimum Pengujian Beban Horizontal.....	61
Tabel 4.13	Penentuan Nilai P Elastis Tinjauan.....	61
Tabel 4.14	Perpindahan Saat Beban P Elastis Pengujian Beban Vertikal Simetris.....	61
Tabel 4.15	Perpindahan Saat Beban P Elastis Pengujian Beban Horizontal .....	62

Tabel 4.16	Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d1$ Pengujian dan Teoritis Beban Vertikal Simetris .....	62
Tabel 4.17	Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d2$ Pengujian dan Teoritis Beban Vertikal Simetris .....	62
Tabel 4.18	Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d3$ Pengujian dan Teoritis Beban Vertikal Simetris .....	62
Tabel 4.19	Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d1$ Pengujian dan Teoritis Beban Horizontal .....	63
Tabel 4.20	Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d2$ Pengujian dan Teoritis Beban Horizontal .....	63
Tabel 4.21	Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d3$ Pengujian dan Teoritis Beban Horizontal .....	63
Tabel 4.22	Hasil Perbandingan Deformasi $\Delta d4$ Pengujian dan Teoritis Beban Horizontal .....	63
Tabel 4.23	Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Oleh Kedua Tipe Pembebanan ..	64
Tabel 4.24	Beban Pada Retak Pertama yang Terjadi Pada Kedua Tipe Pembebanan...	64

## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	
Gambar 2.1	Susunan Batang yang Stabil dan Tidak Stabil .....	6
Gambar 2.2	Konfigurasi Batang Stabil dan Tidak Stabil .....	7
Gambar 2.3	Rangka Batang Stabil Dengan Pola Batang Bukan Segitiga .....	7
Gambar 2.4	Rangka Batang Stabil yang Jumlah Batangnya Melebihi yang Diperlukan Untuk Kestabilan .....	8
Gambar 2.5	Diagram Benda Bebas Pada Rangka Batang .....	10
Gambar 2.6	Lendutan Pada Rangka Batang .....	11
Gambar 2.7	Sambungan Basah .....	23
Gambar 2.8	Macam-Macam Sambungan .....	24
Gambar 2.9	Sambungan dengan Ikatan Cor .....	25
Gambar 2.10	Sambungan dengan Ikatan Cor A .....	25
Gambar 2.11	Sambungan dengan Ikatan Cor B dan C .....	26
Gambar 2.12	Sambungan dengan Ikatan Terapan .....	26
Gambar 2.13	Macam-Macam Sambungan dengan Ikatan Terapan .....	27
Gambar 2.14	Perkembangan Lebih Lanjut Sambungan dengan Ikatan Terapan .....	27
Gambar 2.15	Teknik Pengelasan untuk Membentuk Ikatan .....	28
Gambar 2.16	Pembentukan Ikatan Baja dengan Baut / Mur .....	28
Gambar 2.17	Beberapa Macam Teknik Mengikat Pada Ikatan Baja .....	29
Gambar 2.18	Sambungan dengan Ikatan Tegangan .....	29
Gambar 2.19	Beberapa Macam Sambungan dengan Ikatan Tegangan .....	30
Gambar 2.20	Pola Retak Gaya Tarik Aksial .....	32
Gambar 2.21	Pola Retak Akibat Gaya Geser dan Tekan Pada Tumpuan .....	32
Gambar 2.22	Pola Retak Kuda-Kuda Bertulang Bambu dengan Agregat Batu Bata .....	33
Gambar 3.1	Desain Penulangan Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu .....	37

Gambar 3.2	Detail Sambungan Pelat Baut Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu .....	38
Gambar 3.3	Skema Pembebanan Benda Uji dengan Beban Vertikal Simetris.....	38
Gambar 3.4	Skema Pembebanan Benda Uji dengan Beban Horizontal .....	39
Gambar 3.5	Diagram Alir Penelitian .....	41
Gambar 4.1	Pembebanan Vertikal Simetris Kuda-Kuda Beton Komposit di <i>Frame</i> Uji	47
Gambar 4.2	Pembebanan Horizontal Kuda-Kuda Beton Komposit di <i>Frame</i> Uji .....	48
Gambar 4.3	Kondisi Akhir Benda Uji Tipe A-6, Hasil Pengujian .....	53
Gambar 4.4	Kondisi Akhir Benda Uji Tipe A-2, Hasil Pengujian .....	53
Gambar 4.5	Grafik Hubungan $\Delta d_1$ Benda Uji Tipe A-5 dan A-6 .....	54
Gambar 4.6	Grafik Hubungan $\Delta d_2$ Benda Uji Tipe A-5 dan A-6 .....	55
Gambar 4.7	Grafik Hubungan $\Delta d_3$ Benda Uji Tipe A-5 dan A-6 .....	56
Gambar 4.8	Grafik Hubungan $\Delta d_1$ Benda Uji Tipe A-1 dan A-2 .....	57
Gambar 4.9	Grafik Hubungan $\Delta d_2$ Benda Uji Tipe A-1 dan A-2 .....	58
Gambar 4.10	Grafik Hubungan $\Delta d_3$ Benda Uji Tipe A-1 dan A-2 .....	59
Gambar 4.11	Grafik Hubungan $\Delta d_4$ Benda Uji Tipe A-1 dan A-2 .....	60
Gambar 4.12	Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Oleh Kedua Tipe Pembebanan ..	65
Gambar 4.13	Beban Pada Retak Pertama yang Terjadi Pada Kedua Tipe Pembebanan...	65
Gambar 4.14	Retakan yang Terjadi Pada Batang Tarik Benda Uji A-5 dan A-6 Dengan Beban Vertikal Simetris .....	66
Gambar 4.15	Retakan yang Terjadi Pada Batang yang Menerima Beban Horizontal Secara Langsung Pada Benda Uji A-1 dan A-2 Dengan Beban Horizontal.....	66
Gambar 4.16	Retakan yang Terjadi di Dalam Sambungan Pelat Baut Pada Benda Uji A-1 dan A-2 Dengan Beban Horizontal.....	67

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Analisis Agregat Halus .....	73
Lampiran 2 Data Hasil Analisis Agregat Kasar (Batu Bata).....	75
Lampiran 3 Data Hasil Mix Design.....	76
Lampiran 4 Data Hasil Uji Kuat Tekan Silinder .....	77
Lampiran 5 Data Hasil Uji Kekakuan Kuda-Kuda.....	78
Lampiran 6 Perhitungan Beban Maksimum Teoritis yang Mampu ditahan Kuda-Kuda....	87
Lampiran 7 Perhitungan Kapasitas Tahan Baut dan Pelat .....	102
Lampiran 8 Perhitungan Deformasi Teoritis Kuda-Kuda .....	103



## RINGKASAN

**Shabrina Bella Carina Riando**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2018, *Respon Sambungan Pelat Baut pada Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu terhadap Beban Vertikal dan Horizontal*, Dosen Pembimbing: Sri Murni Dewi dan Lilya Susanti.

Sebagai bagian penting bagi sebuah struktur atap, kuda-kuda yang dapat terbuat beton bertulang tersebut diharapkan bisa dikembangkan untuk menjadi lebih efektif dan bisa mengatasi kekurangan nya seperti berat dan tidak praktis. Dengan berbagai modifikasi yang dilakukan baik di penelitian sebelum nya dan penelitian saat ini diharapkan bisa membuat kuda-kuda dari beton bertulang menjadi lebih efektif. Modifikasi yang dilakukan ialah, merubah agregat kasar menjadi limbah batu bata untuk membuat beton menjadi lebih ringan, lalu menggunakan bambu sebagai tulangan tarik bagi beton bertulang dengan tujuan membuat beton lebih ringan tanpa mengurangi kemampuan dalam menahan gaya tarik, dan juga menggunakan sambungan pelat baut untuk menyambungkan beberapa segmen beton pracetak dengan maksud menambahkan kekuatan dan mempermudah pemasangan struktur atap sendiri. Seperti diketahui bahwa pengangkatan kuda-kuda beton utuh diperlukan alat berat dikarenakan oleh berat struktur, dan rawan akan retak saat proses pengangkatan dengan alat berat, tetapi diharapkan dengan digunakannya sambungan akan memudahkan dalam pemasangannya kelak.

Pada penelitian ini digunakan jenis sambungan pelat baut untuk menyambungkan dua segmen kuda-kuda. Kekuatan sambungan dapat menentukan kekuatan struktur rangka yang disambung, maka dari itu dibutuhkan perencanaan yang detail agar didapatkan sambungan yang baik. Dengan digunakannya sambungan jenis pelat yang sudah umum didapatkan di masyarakat harap bisa memudahkan pelaksanaan di lapangan kelak. Alat sambung yang digunakan ialah baut dengan diameter 12,7 mm. Benda uji sejumlah 8 buah setengah kuda-kuda akan disambung menggunakan pelat baut menjadi 4 buah kuda-kuda utuh. Pada benda uji dilakukan 2 jenis uji pembebanan, yaitu dengan beban vertikal simetris dan beban horizontal. Beban akan terus bertambah hingga benda uji runtuh dengan interval 50 kg. Selama pengujian berlangsung, deformasi atau perpindahan yang terjadi akan dicatat, begitu juga dengan pola retak yang terjadi. Hasil yang didapatkan dari pengujian ialah berat sendiri benda uji, beban maksimum, deformasi yang terjadi dan pola retak. Berat sendiri benda uji, beban maksimum dan deformasi kemuan akan dianalisis dan dibandingkan dengan hasil teoritis.

Pada tipe pembebanan vertikal simetris, benda uji hanya mampu menahan beban maksimum rata-rata 600 kg untuk satu titik pembebanan, dimana untuk 2 titik pembebanan maka beban yang mampu ditahan ialah 1200kg. Untuk tipe pembebanan horizontal mampu menahan beban hingga 2500kg. Dibandingkan dengan penelitian yang sudah ada sebelum nya, kuda-kuda beton komposit bertulang bambu tanpa sambungan dan berbentuk setengah kuda-kuda mampu menahan beban dengan rata-rata 3000kg (Insani, M.H, 2016). Pola retak yang terjadi pada benda uji umum nya berada di bagian batang tarik yang menunjukkan bahwa beton tidak mampu menahan gaya tarik bekerja, sehingga beton terlebih dahulu runtuh dibandingkan tulangan dan sambungan pelat baut nya. Pola retak yang terjadi tersebut sama dengan pola retak yang terjadi pada penelitian sebelumnya (Paramita, R.P., 2016) yang menghasilkan pola retak pada bagian batang tarik.

Kata kunci: kuda-kuda, limbah batu bata, sambungan, pelat baut

Halaman ini sengaja dikosongkan



## SUMMARY

**Shabrina Bella Carina Riando**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, January 2018, *Response of Bolt-Plate Connection on Bamboo Reinforced Composite Concrete Truss to Vertical and Horizontal Load Variations*, Academic Supervisor: Sri Murni Dewi and Lilya Susanti.

*Being the most important part on the roof structure, truss that made from the reinforced concrete are expected to be developed in effective way and can overcome their own weakness such as the weight and their impracticability. With the modifications made on both the previous and current studies hopefully can make the truss to become more effective. The modification were, converting the coarse aggregate into using recycled bricks to make the concrete lighter, and then using bamboo as the reinforcement instead of steel so the concrete can be lighter without losing its ability to withstand tensile strength, and also using bold-plate connectors to connect several segments of concrete truss into one so the plate can add strength and make the installation easier. As known, the installation of pre-cast reinforced concrete roof truss is quite difficult and require heavy equipment, beside that, it also has risk of cracking on one of its element when lifted. Due to that reasons, using a connector hopefully can simplify the process.*

*The connector that used in this study was a bolt-plate type. The connector can specify the strenght of the structure that it connect, but it takes detail calculation in order to get a suitable connector. With the use of this plate connection, which is common to be found in the society hopefully can simplify the process of installation. The connecting tool used is a bolt with diameter  $\frac{1}{2}$ ' (12,7 mm). There are 8 specimens of half roof frame that connected with bolt-plate into 4 specimens of whole roof frame. Two types of incremental load test were carried out, there were Vertical Symmetric and Horizontal with each using two roof frames. The load increased every 50 kg until the truss can't overcome the load and collapse. Displacement and crack patterns of the specimens were noted while doing the test. The result got from testing the specimens were the specimens selfweight, maximum load that can be held by the specimens, displacement, dan crack patterns. Then, the specimens selfweight, maximum load and displacement will be analyzed and compared with the result that got from the theoritical results.*

*In the Vertical Symmetric type, the average load that can be hold is 600 kg for one point of load, so it can hold up to 1200 kg in total for two point loads. And in the horizontal type, the average load was 2500 kg. Compared to the previous study by Insani, M.H (2016) with the exact same concrete but without connector and only using half frame roof it average load was 3000kg for one point of load in Vertical direction. The crack patterns that occurred was commonly occurs in the tension force member, so the concrete was collapsed first compared to its bamboo reinforcement and bolt-plate itself. These crack patterns are the same with the previous study by Paramita, R.P (2016) that shows the cracks happened in the tension force member of the truss.*

Kata kunci: *truss, roof truss, recycled bricks, connector, bolt plate*

Halaman ini sengaja dikosongkan

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Atap menjadi salah satu bagian struktur bangunan yang paling penting, dikarenakan diletakkan di bagian terluar dari sebuah bangunan dan berfungsi untuk melindungi bagian dalam bangunan dari pengaruh angin, hujan, dan kondisi lingkungan luar lainnya. Dalam proses pembuatan konstruksi atap, kuda-kuda merupakan bagian yang paling penting. Kuda-kuda menjadi penyangga utama dalam struktur atap. Pada umumnya kuda-kuda dapat terbuat dari kayu, bambu, baja, serta beton bertulang.

Kuda-kuda yang terbuat dari beton bertulang memiliki keunggulan dan kekurangan nya sendiri. Keunggulan yang dimiliki diantara lain ialah bentuk dan ukuran yang dapat di buat sesuai dengan keinginan serta harga yang lebih murah. Kekurangan yang dimiliki antara lain ialah berat struktur yang nanti nya akan disalurkan ke kolom dan elemen struktural lainnya, serta memerlukan waktu perawatan yang cukup lama (28 hari). Beberapa inovasi dalam pembuatan beton yang lebih efisien telah dilakukan, salah satu nya ialah dengan mengganti campuran bahan pembuat beton serta memodifikasi penggunaan tulangan. Campuran beton pada umumnya terdiri dari air, agregat kasar (batu kerikil), agregat halus (pasir) dan semen yang bertugas sebagai pengikat. Dalam perkembangannya, penggunaan batu kerikil sebagai agregat kasar dalam pembuatan beton dapat digantikan dengan menggunakan limbah batu bata yang telah dibuktikan dapat membuat berat beton menjadi lebih ringan. Penelitian menggunakan inovasi tersebut telah dilakukan oleh Muhammad Hanif Insani pada tahun 2016. Penelitian tersebut memberikan hasil bahwa beton bertulang bambu dengan menggunakan variasi agregat limbah batu bata memiliki berat jenis yang lebih ringan yaitu  $2004,25 \text{ kg/m}^3$ , serta mampu menahan beban maksimum hingga 3016,67 kg. Dibandingkan dengan beton bertulang bambu dengan agregat batu kerikil yang mampu menahan beban hingga 3700 kg tetapi memiliki berat jenis mencapai  $2312,06 \text{ kg/m}^3$ .

Beton dapat menahan gaya tekan dengan sangat baik tetapi tidak dapat menahan gaya tarik sehingga peran penggunaan tulangan ialah untuk menahan gaya tarik menggantikan kemampuan beton dalam menahan gaya tarik yang lemah. Tulangan baja yang selama ini digunakan sebagai tulangan utama dalam pembuatan beton bertulang kini sudah dapat

digantikan dengan penggunaan bambu. Bambu memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi hingga mencapai 116 Mpa (*Morisco, 1999*).

Beton memiliki waktu perawatan yang cukup lama (28 hari) sehingga menyulitkan apabila kuda-kuda dicor di tempat. Sehingga, dalam memudahkan pemasangan kuda-kuda beton bertulang pada bangunan maka dapat digunakan metode pracetak dimana kuda-kuda beton bertulang di cor diluar bangunan, hal ini akan memudahkan proses pembuatan karena beton dibuat tidak di tempat tinggi (dikarenakan atap merupakan bagian tertinggi dalam sebuah bangunan). Dalam proses pemasangan nya pun kuda-kuda dapat dibuat menjadi beberapa segmen yang kemudian disambung menjadi satu. Dalam menyambung segmen-segmen tersebut dapat digunakan sambungan. Sambungan yang dapat digunakan untuk menyambungkan segmen kuda-kuda tersebut salah satu nya ialah dengan pelat baut dan *grouting*.

Kekuatan sambungan dapat menentukan kekuatan struktur rangka yang disambung nya, sehingga diperlukan detail sambungan yang baik. Hal ini mendasari diadakannya penelitian mengenai sambungan yang paling baik dalam menyambung kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu sehingga layak dan aman untuk digunakan.

## **1.2. Batasan Masalah**

Berikut adalah batasan masalah dalam penelitian ini sesuai uraian di atas:

1. Penelitian dilakukan pada rangka kuda-kuda dengan bentang pendek berbentuk dua kali setengah kuda-kuda dengan panjang total dua kali 1,5 meter yang disambung dengan menggunakan sambungan pelat baut.
2. Benda uji berupa rangka kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu dengan agregat kasar limbah batu bata yang dibuat menjadi dua benda uji untuk diberi beban vertikal dan horizontal.
3. Beton komposit bertulangan bambu berbentuk penampang persegi dengan ukuran 8 x 8 cm
4. Tulangan pada beton komposit bertulangan bambu berasal dari bambu petung dengan ukuran 1 x 1 cm.
5. Penelitian dilakukan dengan meninjau kekuatan dan pola retak sambungan pelat baut pada rangka kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu terhadap beban vertikal dan horizontal melalui pengujian laboratorium.
6. Hasil penelitian pengujian tersebut merupakan pola retak sambungan dan kekuatan rangka secara keseluruhan terhadap pembebanan pada rangka kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu.

7. Beban vertikal yang bekerja merupakan beban terpusat.
8. Beban horizontal yang bekerja merupakan beban terpusat.
9. Struktur rangka kuda-kuda merupakan struktur rangka batang statis tertentu.

### **1.3. Rumusan Masalah**

Sesuai uraian di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini antara lain:

1. Berapa beban vertikal maksimum yang dapat ditahan oleh rangka kuda-kuda dengan sambungan pelat baut pada struktur rangka kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu?
2. Berapa beban horizontal maksimum yang dapat ditahan oleh rangka kuda-kuda dengan sambungan pelat baut pada struktur rangka kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu?
3. Bagaimana kekuatan dan pola retak rangka kuda-kuda dengan sambungan pelat baut pada struktur rangka kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu terhadap beban vertikal dan horizontal?

### **1.4. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui besar beban vertikal maksimum yang dapat ditahan oleh rangka kuda-kuda dengan sambungan pelat baut pada struktur rangka kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu.
2. Mengetahui besar beban horizontal maksimum yang dapat ditahan oleh rangka kuda-kuda dengan sambungan pelat baut pada struktur rangka kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu.
3. Mengetahui kekuatan dan pola retak rangka kuda-kuda dengan sambungan pelat baut pada struktur rangka kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu terhadap beban vertikal dan horizontal.

### **1.5. Manfaat**

Dalam penelitian ini rangka kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu dengan menggunakan agregat kasar berupa limbah batu bata yang disambung dengan menggunakan sambungan pelat baut diharapkan dapat bermanfaat sebagai salah satu alternatif yang memudahkan pemasangan pada konstruksi. Penelitian ini juga dapat dijadikan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Struktur Rangka Batang**

Rangka batang adalah susunan elemen-elemen linier yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk bila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya. Setiap elemen tersebut dianggap tergabung pada titik hubungannya dengan sambungan sendi. Sedangkan batang-batang tersebut dihubungkan sedemikian rupa sehingga semua beban dan reaksi hanya terjadi pada titik hubung.

##### **2.1.1. Gaya Batang**

Gaya batang adalah gaya yang muncul di dalam batang akibat beban vertikal dan horizontal yang membebani setiap titik nodal struktur rangka batang. Gaya-gaya yang ada berupa gaya tarik murni dan tekan murni. Pembentukan segitiga dalam struktur rangka batang menyebabkan beban tidak menumpu ditengah batang tetapi berada di titik nodal atau titik tumpu, sehingga tidak ada momen lentur dalam struktur rangka batang.

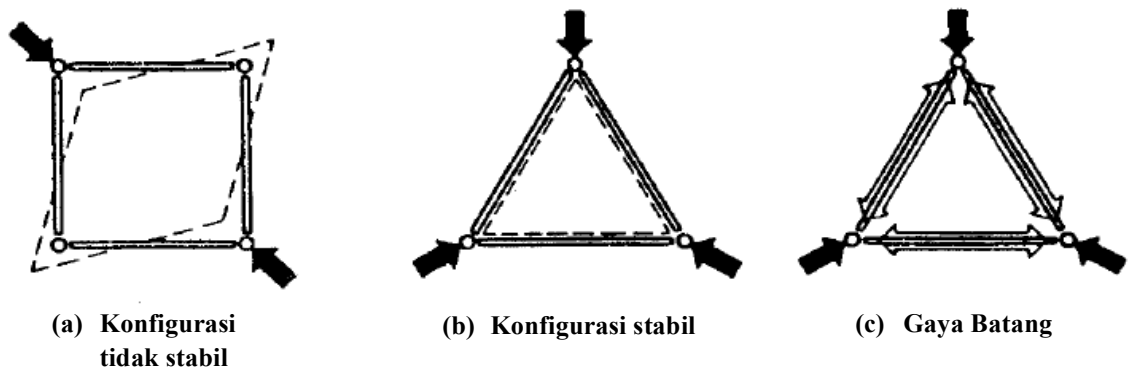
Perilaku gaya-gaya dalam batang pada rangka batang dapat digunakan dengan menerapkan persamaan dasar keseimbangan. Salah satu cara untuk menentukan gaya dalam batang pada rangka adalah dengan menggambarkan bentuk deformasi yang mungkin dari struktur yang akan terlihat apabila batang yang hendak diketahui sifat gayanya dibayangkan tidak ada. Dengan demikian sifat gaya (tarik atau tekan) batang itu dapat diketahui berdasarkan analisis mengenai pencegahan deformasi tersebut.

Dalam perencanaan bangunan rangka batang beton komposit dengan menggunakan perhitungan berdasarkan keadaan elastis, besarnya tegangan yang diakibatkan oleh gaya-gaya batang dibatasi oleh besarnya tegangan ijin elemen betonnya (*Schodek, 1995*).

##### **2.1.2. Pembentukan Segitiga (Triangulasi)**

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga hingga menjadi bentuk stabil. Perhatikan kedua struktur terhubung sendi seperti terlihat pada Gambar. 2.1 (a) dan 2.1 (b). Apabila itu struktur diberi beban seperti terlihat pada Gambar. 2.1 (a), maka akan ada deformasi masif. Ini adalah struktur tak stabil, yang membentuk mekanisme runtuh (*collapse*) apabila dibebani. Sebaliknya, konfigurasi segitiga pada batang-batang seperti

terlihat pada Gambar 2.1 (b) tidak dapat berubah bentuk atau runtuh seperti contoh sebelumnya. Dengan demikian bentuk segitiga ini stabil. Setiap deformasi yang terjadi pada struktur stabil adalah minor dan diasosiasikan dengan perubahan panjang batang yang diakibatkan oleh gaya yang timbul di dalam batang sebagai akibat dari beban eksternal. Selain itu, sudut yang terbentuk di antara dua batang tidak berubah apabila struktur stabil tersebut dibebani. Hal ini sangat bertentangan dengan bentuk tidak stabil, yang sudut di antara dua batangnya berubah sangat besar (lihat Gambar 2.1 (c)). Juga jelas bahwa gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang struktur bentuk stabil (Schodek, 1995). Gaya-gaya yang timbul pada struktur tersebut adalah tarik atau tekan. Tidak ada lentur pada struktur tersebut.



**Gambar 2.1** Susunan Batang yang Stabil dan Tidak Stabil.

Sumber: Schodek (1995:136).

### 2.1.3. Stabilitas Rangka Batang

Pada umumnya dengan melalui pengujian didapatkan apakah suatu rangka batang stabil atau tidak akibat beban eksternal dengan memperhatikan secara keseluruhan apakah setiap titik hubung selalu mempertahankan hubungan yang tetap terhadap titik hubung lain pada kondisi pembebanan tersebut. Konfigurasi segitiga merupakan elemen penyusun yang mendasari kestabilan suatu bentuk rangka batang.

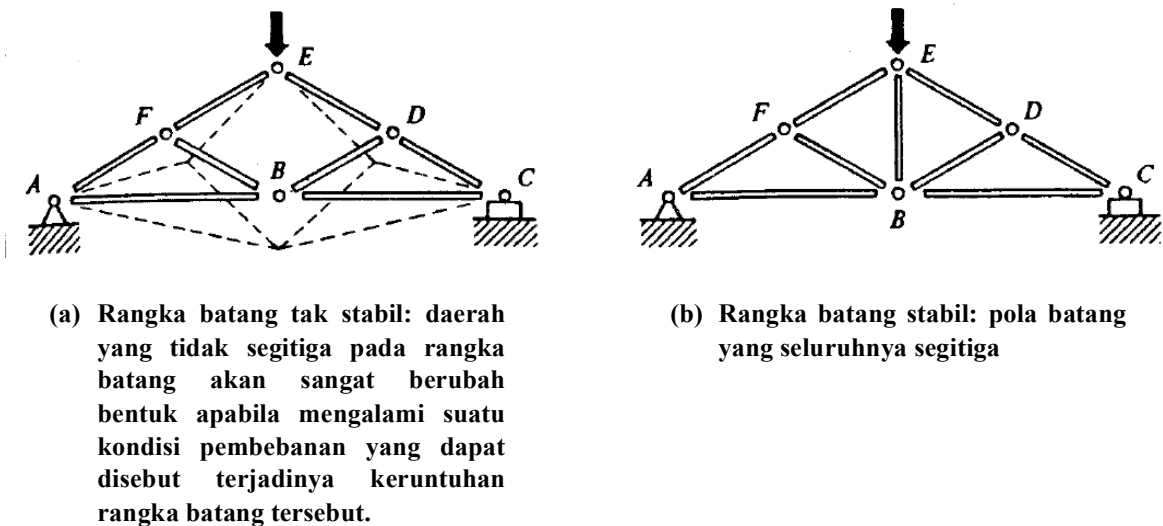
Rangka batang yang terdapat pada Gambar 2.2 (a) tidak stabil dan akan runtuh apabila dibebani seperti yang terdapat digambar. Jelas bahwa rangka batang ini tidak mempunyai jumlah batang cukup untuk mempertahankan hubungan geometri kaku antara titik-titik hubungannya. Apabila batang-batang lainnya dirancang cukup untuk beban tersebut, maka penambahan batang BC seperti terlihat pada Gambar 2.2 (b) akan menjadikan konfigurasi stabil.

Perlu diperhatikan bahwa rangka batang dengan satu atau lebih konfigurasi bukan segitiga dapat saja merupakan struktur stabil. Pada Gambar 2.3 terlihat struktur rangka

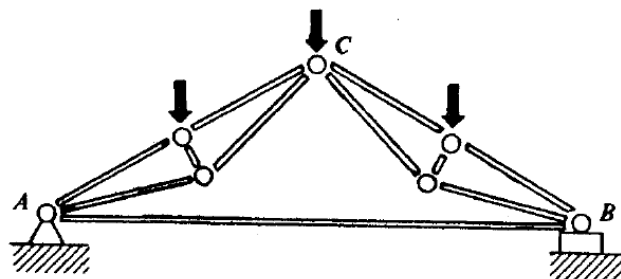


batang yang terdiri atas sekumpulan pola batang segitiga yang dihubungkan hingga berpola segitiga, tetapi masih merupakan struktur stabil. Kelompok segitiga di antara  $A$  dan  $C$  membentuk pola kaku, begitu pula yang ada di antara  $B$  dan  $C$  sehingga posisi relative  $C$  ke titik  $A$  dan  $B$  dapat dipertahankan, yang berarti rangka batang tersebut stabil. Kumpulan segitiga di antara  $A$  dan  $C$  dapat dianggap sebagai “batang”, begitu pula di antara  $B$  dan  $C$ .

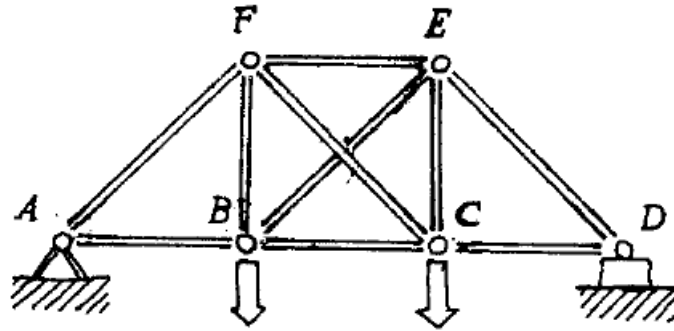
Pada satu rangka batang dapat menggunakan batang melebihi minimum yang diperlukan untuk kestabilan. Sebagai contoh adalah rangka batang pada Gambar 2.4, salah satu batang diagonalnya dapat dipandang sebagai redundan. Batang  $BE$  atau  $CF$  dapat dibuang dan konfigurasi yang tertinggal akan tetap stabil. Jelaslah apabila dibuang keduanya, konfigurasi yang tertinggal tidak stabil.



**Gambar 2.2** Konfigurasi Batang Stabil dan Tidak Stabil.  
Sumber: Schodek (1995:140).



**Gambar 2.3** Rangka Batang Stabil Dengan Pola Batang Bukan Segitiga  
Sumber: Schodek (1995:141).



**Gambar 2.4** Rangka Batang Stabil Yang Jumlah Batangnya Melebihi Yang Diperlukan Untuk Kestabilan.

Sumber: Schodek (1995:141).

Pentingnya penentuan apakah konfigurasi batang stabil atau tidak dapat dilebih-lebihkan karena hal ini dapat membahayakan. Keruntuhan total dapat langsung terjadi kalau struktur tak stabil dibebani. Pola yang tidak biasa sering kali menyulitkan penyelidikan kestabilannya. Sebagai pembantu dalam menentukan kestabilan rangka batang bidang digunakan persamaan aljabar yang menghubungkan banyak titik hubung pada rangka batang dengan banyak batang yang diperlukan untuk kestabilan. Apabila  $n$  adalah banyaknya batang yang diperlukan, dan  $j$  adalah banyak titik hubung, maka:

$$n = 2j - 3 \quad (2-1)$$

Pada umumnya dapat dikatakan bahwa apabila jumlah batang lebih kecil daripada yang diperlukan, maka strukturnya tidak stabil, sedangkan apabila jumlahnya lebih besar dari yang diperlukan, maka strukturnya mengandung redundan. Akan tetapi, persamaan diatas belum cukup, dan tidak boleh begitu saja digunakan sebagai ganti penyelidikan visual untuk menentukan kestabilan struktur. Persamaan itu hanya merupakan indikator apakah suatu gaya batang pada struktur dapat dihitung dengan persamaan keseimbangan saja atau tidak, dan sebenarnya tidak ditujukan untuk meninjau kestabilan. Sekalipun demikian, persamaan tersebut memang dapat digunakan sebagai petunjuk awal kestabilan dikarenakan tidak dapat menghitung gaya-gaya pada struktur tidak stabil dengan persamaan statika.

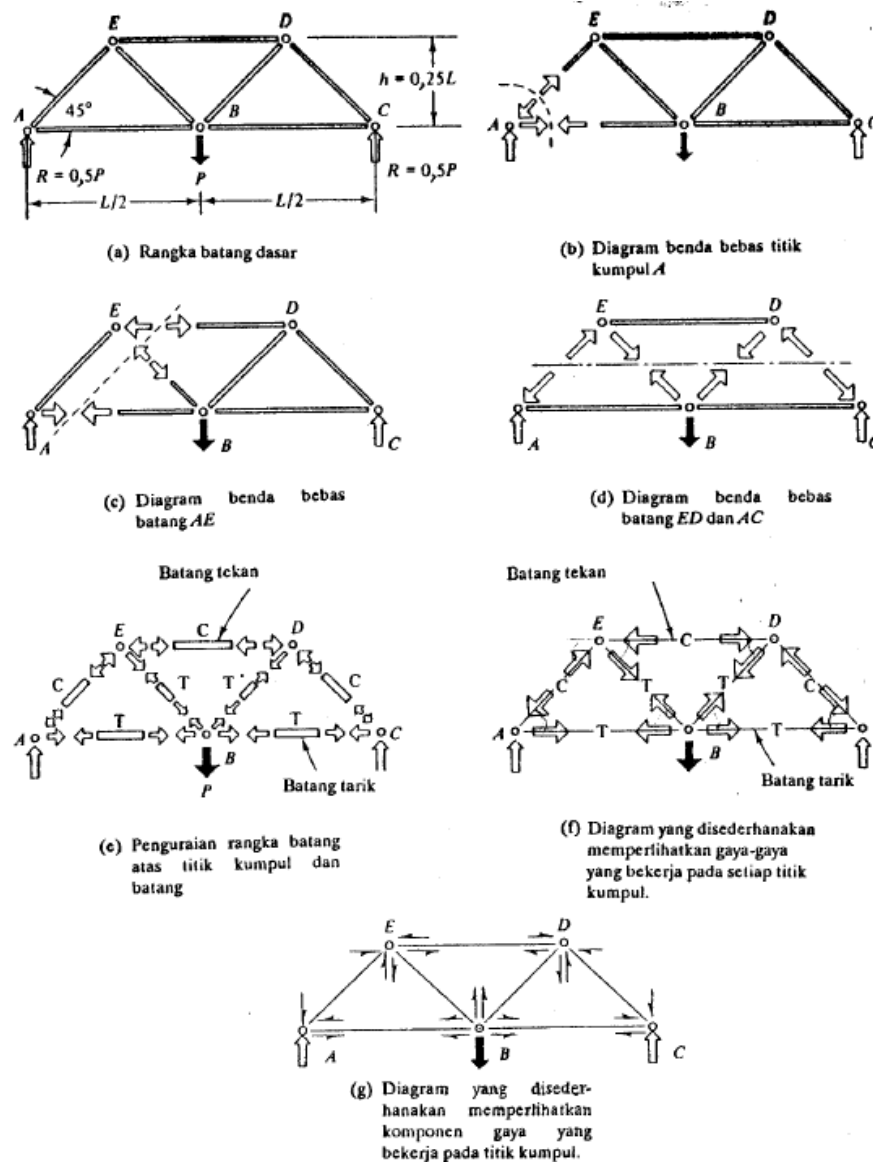
#### 2.1.4. Kestimbangan Titik Kumpul

Fakta bahwa setiap bagian pada setiap struktur harus berada dalam keadaan keseimbangan adalah dasar semua analisis rangka batang untuk mencari gaya batang. Pada analisis rangka batang dengan metode titik kumpul (titik hubung, joints), rangka batang dianggap sebagai gabungan batang dan titik kumpul. Gaya batang diperoleh dengan meninjau keseimbangan titik-titik kumpul. Gaya batang diperoleh

dengan meninjau keseimbangan titik-titik kumpul. Setiap titik kumpul harus berada dalam keseimbangan.

Gambar 2.5(e) mengilustrasikan rangka batang khas yang telah diuraikan atas kumpulan elemen-elemen linear dan titik kumpul ideal. Diagram benda bebas untuk semua titik kumpul dan batang juga diperhatikan. Dengan meninjau titik-titik kumpul saja, terlihat bahwa sistem gaya yang bekerja pada setiap titik kumpul terdiri atas gaya batang yang berkumpul padanya dan beban eksternal yang bekerja padanya. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.5(e), gaya batang pada titik kumpul sama dan berlawanan arah dengan yang bekerja pada batang. Setiap titik kumpul harus berada dalam keadaan seimbang. Setiap titik kumpul harus berada dalam keadaan seimbang. Sistem gaya yang bekerja pada titik kumpul bekerja melalui titik yang sama. Hal ini berarti bahwa peninjauan keseimbangan yang diperlukan hanyalah translasi. Keseimbangan rotasi tidak perlu ditinjau karena semua gaya melalui satu titik, yaitu satu titik yang diperlukan. Diagram benda bebas pada Gambar 2.5(e), (f), dan (g) digunakan sebagai solusi gaya batang dengan metode keseimbangan titik hubung.

Analisa gaya batang dengan metode keseimbangan titik kumpul pada umumnya dapat dikerjakan berurutan, titik demi titik. Untuk rangka batang yang terlihat pada Gambar 2.5, langkah pertama adalah menggambarkan sekumpulan diagram benda bebas seperti pada Gambar 2.5(e). Alternatif lain ialah dengan menggambarkan diagram benda bebas titik-titik kumpul [lihat Gambar 2.5(f) Gambar 2.5]. Persamaan keseimbangan translasi ( $\sum F_x = 0$  dan  $\sum F_y = 0$ ) diterapkan pada setiap titik kumpul. Dalam menggambarkan diagram benda bebas dan persamaan keseimbangan tersebut, gaya yang belum diketahui perlu dimisalkan dahulu sifatnya, tarik atau tekan. Benar-tidaknya pemisalan ini akan terlihat dari tanda aljabar gaya yang diperoleh dari persamaan keseimbangan. Apabila bertanda positif, berarti arah pemisalannya sudah benar; dan bila bertanda negatif, berarti arah kenyataan berlawanan dengan pemisalan (*Schodek, 1995*).



**Gambar 2.5** Diagram Benda Bebas Pada Rangka Batang

Sumber: Schodek (1995:142).

### 2.1.5. Lendutan pada Struktur Rangka Batang

Kekuatan pada kuda-kuda sebagai struktur rangka batang merupakan beban maksimum yang mampu ditahan oleh setiap batang selaku elemen struktur tersebut. Beban-beban yang bekerja pada kuda-kuda beton bertulang bambu dengan campuran batu-bata ini, seperti beban gravitasi (arah vertikal) dan beban angin (arah horizontal), dapat menyebabkan adanya lendutan dan deformasi pada elemen struktur kuda-kuda tersebut.

Lendutan pada struktur rangka batang merupakan deformasi total elemen-elemen batang pada titik pertemuannya akibat adanya gaya-gaya aksial dalam elemen-elemen

batang tersebut. Nilai deformasi pada elemen-elemen batang akibat gaya-gaya aksial tersebut dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

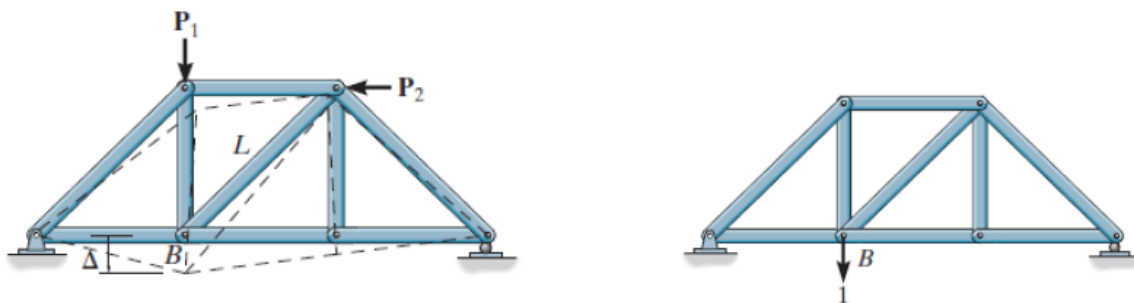
$$\Delta = \frac{PL}{AE} \quad (2-1)$$

Dimana  $P$  merupakan gaya normal atau aksial pada batang yang diakibatkan oleh beban eksternal. Oleh karena itu persamaan gaya semu untuk rangka batang adalah

$$1. \Delta = \sum \frac{nPL}{AE} \quad (2-2)$$

dengan:

- $1$  = beban satuan semu yang bekerja pada titik hubung rangka batang dalam arah  $\Delta$
- $n$  = gaya normal semu internal pada sebuah batang yang diakibatkan oleh satuan beban semu eksternal
- $P$  = gaya normal internal pada sebuah batang yang diakibatkan oleh beban sesungguhnya
- $L$  = panjang batang yang ditinjau
- $A$  = luas penampang batang yang ditinjau
- $E$  = modulus elastis batang yang ditinjau



**Gambar 2.6** Lendutan Pada Rangka Batang

Disini beban satuan semu eksternal menghasilkan gaya semu internal  $n$  pada setiap batang dari rangka batang. Beban sesungguhnya kemudian mengakibatkan perpindahan titik buhul sejauh  $\Delta$  dalam arah yang sama dengan beban satuan semu dan setiap anggota bagian dipindahkan sejauh  $PL/AE$  dalam arah yang sama dengan gaya  $n$  yang diberikan. Akibatnya kerja semu eksternal  $1. \Delta$  sama dengan kerja semu internal atau energi tegangan (semu) internal yang disimpan dalam semua batang rangka batang  $\sum nPL/AE$  (Hibbeler, 2002).

## 2.2 Kuda-Kuda

Konstruksi kuda-kuda ialah suatu susunan rangka batang yang berfungsi untuk mendukung beban atap termasuk juga beratnya sendiri dan sekaligus dapat memberikan bentuk pada atapnya. Kuda-kuda merupakan penyangga utama pada struktur atap. Struktur ini termasuk dalam struktur framework (*truss*). Umumnya kuda-kuda terbuat dari kayu, bambu, baja, dan beton bertulang.

## 2.3 Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI-03-2847-2002). Semen adalah bahan bangunan bersifat hidrolis yaitu bersifat perekat. Agregat halus dan agregat kasar merupakan bahan utama pembentuk beton. Air digunakan agar terjadi reaksi kimia pada pengerasan beton saat tercampur dengan semen serta perawatan setelah beton mengeras.

Beton merupakan bahan komposit, yaitu heterogen secara mikroskopis maupun makroskopis yang diperoleh dari bahan-bahan penyusunnya. Bila pembuatan beton dilakukan dengan baik maka setiap agregat akan terlapisi oleh pasta semen sehingga kualitas pasta sangat menentukan kualitas betonnya. Selain itu, agregat sebagai bahan pengisi akan menempati (60-70) % dari volume total sehingga seleksi bahan ini merupakan hal hal yang penting. Secara fisik, beton mempunyai dua bentuk, beton segar bersifat plastis, yaitu mampu dibentuk tanpa kehilangan kontinuitasnya maupun mampu mempertahankan bentuk tersebut yang ditunjukkan pada saat pencampurannya dan beton keras bersifat kuat yang ditunjukkan setelah siap dioperasikan (Suseno, 2010).

Struktur komposit adalah struktur yang tergabung dari beberapa bahan dasar yang bekerja sama membentuk sebuah kesatuan struktur dan sekaligus memenuhi kebutuhan lingkungan yang menjadi tugas utamanya. Sebagai gabungan dari beberapa bahan dasar maka struktur ini mengadopsi sifat bahan dasar dan juga interaksi antara bahan dasar, baik dalam segi fisik, kimia, dan mekanik. Dengan penggabungan ini kekurangan pada suatu bahan ditutupi kelebihan bahan dasar lain (Dewi, 2008).

### 2.3.1. Material Penyusun Beton

Bahan dasar beton terdiri dari semen, air, agregat halus, dan agregat kasar. Pada dasarnya, bahan dasar beton harus bisa mengisi satu sama lain agar beton dapat menjadi satu kesatuan. Bahan tambahan campuran adalah bahan kimia atau mineral pembantu yang ditambahkan pada saat pencampuran dengan tujuan- tujuan tertentu. (Suseno, 2010)

#### A. Semen

Semen merupakan bahan pengikat dalam beton. Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup. Pada tahun 1824 semen Portland dipatenkan di Inggris. Semen Portland merupakan bubuk yang sangat halus terdiri dari kalsium dan aluminium silikat.

Beton yang dibuat dari semen Portland biasanya memerlukan waktu kurang lebih dua minggu untuk mencapai kekuatan yang cukup pada saat cetakan dapat dibuka dan dapat memikul beban yang sesuai. Struktur beton tersebut akan mencapai kekuatan rencana setelah 28 hari dan setelah masa tersebut kekuatan beton akan terus bertambah sedikit demi sedikit (*George dan Arthur, 1993*).

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (*SNI-15-2049-2004*).

Menurut ASTM C-150, semen dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan penggunaannya, yaitu:

1. Jenis I, merupakan jenis semen Portland untuk penggunaan umum tanpa spesifikasi kegunaan khusus
2. Jenis II, merupakan semen yang penggunaannya membutuhkan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi
3. Jenis III, merupakan semen yang penggunaannya membutuhkan kekuatan yang tinggi pada proses pengecoran awal setelah pengikatan terjadi
4. Jenis IV, merupakan semen yang penggunaannya pada saat memerlukan kalor hidrasi yang rendah
5. Jenis V, merupakan jenis semen yang penggunaannya membutuhkan kadar sulfat yang tinggi.

## **B. Air**

Untuk membuat dan mengusahakan tetap basah dari beton selama minggu pertama harus dipakai air murni. Kepadatan beton juga tergantung kepada kemurnian air yang dipakai. Untuk konstruksi, air yang biasa dipakai adalah air pipa. Untuk penyelidikan yang sederhana di pekerjaan, air itu diuji menurut jernihnya dan rasanya. Selanjutnya air tidak boleh berbau, lalu bila ditiup air tersebut tidak berubah menjadi keruh (*Ir. J. Honing, 1977*).

Menurut SNI 02-2847-2002, air yang digunakan untuk campuran dasar beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Air untuk pembuatan campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan perusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, ataupun bahan lainnya yang merugikan beton atau tulangan.
2. Air yang digunakan untuk campuran beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Apabila air tidak dapat diminum maka pemilihan proposi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

### C. Agregat Kasar

Agregat kasar, menurut SNI-03-2834-2000, adalah sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperlah dari industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh kerikil yang dapat menjadi agregat kasar pada bahan pembentuk beton.

**Tabel 2.1** Jenis Agregat Ringan Yang Dipilih Berdasarkan Tujuan Konstruksi.

KONSTRUKSI BANGUNAN	BETON RINGAN		JENIS AGREGAT RINGAN
	KUAT TEKAN MPa	BERAT ISI kg/m <sup>3</sup>	
-Struktual : Minimum	17,24	1400	- Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan dari batu serpih, batu lempung, batu sabak, terak besi atau terak abu terbang
Maksimum	41,36	1850	
-Struktual : Minimum Ringan	6,89	800	-Agregat ringan alam : skoria atau batu apung.
Maksimum	17,24	1400	
-Struktual : Minumum	-	-	- Perlit atau vemikulit
Sangat Ringan			
Sebagai Isolasi : Maksimum	-	800	

(Sumber: *SNI 03-3449-2002*)

**Tabel 2.2** Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural.

No	Sifat fisis	Persyaratan
1	Berat Jenis	1,0 – 1,8
2	Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum:	
	- gembur kering (kg/cm)	1120
	- agregat halus	880
	- agregat kasar	1040
	- campuran agregat kasar dan halus	60
4	Nilai presentase volume padat (%)	9-14



5	Nilai 10 % kehalusan (ton)	
6	Kadar bagian yang terapung setelah direndam dalam air 10 menit maksimum (%)	5
7	Kadar bahan yang mentah (clay dump) (%)	<1
8	Nilai keawetan, jika dalam larutan magnesium sulfat selama 16 – 18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12

**CATATAN:**

Nilai keremukan ditemukan sebagai hasil bagi banyaknya fraksi yang lolos pada ayaman 2,4 mm dengan banyaknya bahan agregat kering oven semula dikalikan 100%

(Sumber: SNI 03-2461-2002)

**Tabel 2.3** Persyaratan Susunan Besar Butir Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural.

Ukuran	Prosentase yang lulus angka (% berat)								
	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,3
Agregat halus : (4,75 – 0) mm	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat kasar : (25,0 – 4,75) mm	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
(19,0 – 4,75) mm	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
(12,5 – 4,75) mm	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
(9,5 – 2,36) mm	-	-	100	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-
Kombinasi agregat Halus & kasar: (12,5 – 8,0) mm	-	100	95-100	-	40-80	-	-	5-20	2-15
(9,5 – 8) mm	-	-	100	90-100	65-90	35-65	-	10-25	5-15

(Sumber: SNI 03-2461-2002)

Syarat-syarat mutu agregat kasar menurut PBI 1971, yaitu:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 1%, maka agregat kasar harus dicuci.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
4. Kekerasan agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari Rudeloff dengan beban penguji 20t, dengan mana harus dipenuhi syarat-syarat berikut:
  - a. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24% berat.
  - b. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22%.
 atau dengan mesin Pengaus Los Angelos, dengan mana tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.

5. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus memenuhi syarat-syarat berikut:
  - a. Sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus 0% berat..
  - b. Sisa di atas ayakan 4 mm, harus berkisar antara 90% dan 98% berat.
  - c. Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
6. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari pada seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau tigaperempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

Syarat mutu agregat kasar menurut SK SNI S-04-1989-F, yaitu:

1. Butirannya tajam, kuat dan keras.
2. Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
3. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
  - a. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 %
  - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10 %
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 1 %. Apabila lebih dari 1 % maka kerikil harus dicuci.
5. Tidak boleh mengandung zat organik dan bahan alkali yang dapat merusak beton.
6. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 6 – 7,10 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
  - a. Sisa di atas ayakan 38 mm, harus 0 % dari berat
  - b. Sisa di atas ayakan 4,8 mm, 90 % - 98 % dari berat
  - c. Selisih antara sisa-sisa komulatif di atas dua ayakan yang berurutan, mak 60 % dan min 10 % dari berat.
7. Tidak boleh mengandung garam.

#### **D. Agregat Halus**

Menurut SNI-03-2834-2000, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah

batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh pasir yang dapat menjadi agregat halus pada bahan pembentuk beton.

Syarat-syarat mutu agregat halus menurut PBI 1971, yaitu:

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Harder (dengan larutan NaOH).
4. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus memenuhi syarat-syarat berikut:
  - a. Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
  - b. Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
  - c. Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80%-95% berat.
5. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Syarat mutu agregat halus menurut SK SNI S-04-1989-F, yaitu:

1. Butirannya tajam, kuat dan keras.
2. Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
3. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
  - a. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 %
  - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10 %
4. Agregat halus tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5 %. Apabila lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci.
5. Tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
6. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5-3,8. Apabila diayak dengan

susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3 atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Sisa di atas ayakan 4,8 mm, maks 2 % dari berat.
  - b. Sisa di atas ayakan 1,2 mm, maks 10 % dari berat.
  - c. Sisa di atas ayakan 0,30 mm, maks 15 % dari berat .
7. Tidak boleh mengandung garam.

### **2.3.2. Jenis-Jenis Beton**

Macam-macam beton berdasarkan SNI-2847-2002 sebagai berikut:

1. Beton bertulang : Beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja,
2. Beton normal : Beton yang mempunyai berat satuan  $2.200 \text{ kg/m}^3$  sampai  $2.500 \text{ kg/m}^3$  dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.
3. Beton polos : Beton tanpa tulangan atau mempunyai tulangan tetapi kurang dari ketentuan minimum.
4. Beton pracetak : Elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan.
5. Beton prategang : Beton bertulang yang telah diberi tegangan tekan untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja.
6. Beton ringan : beton yang mempunyai agregat ringan yang memiliki berat satuan tidak lebih dari  $1.900 \text{ kg/m}^3$ .
7. Beton ringan-pasir : Beton ringan yang semua agregat halusnyanya merupakan pasir berat normal.
8. Beton ringan-total : Beton ringan yang agregat halusnyanya bukan merupakan pasir alami

### **2.4 Batu Bata**

Berdasarkan SNI 15-2094-1991, SII-0021-78, batu bata merupakan suatu unsur bangunan yang di peruntukkan pembuatan konstruksi bangunan dan yang dibuat dari tanah dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lain, dibakar cukup tinggi, hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air. Bahan utama pembentuk batu bata adalah tanah lempung. Lempung adalah suatu bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penggalian lapisan tanah pembentuk kerak bumi yang berbentuk kerak bumi yang bersifat lepas tidak tersementasi, kohesif (saling berikatan), plastis (mudah dibentuk tanpa perubahan bentuk,

tanpa kembali ke bentuk semula dan tanpa terjadi retak-retak) serta merupakan hasil pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung mineral feldspar dan mika (*Suseno, 2010*).

Dalam penelitian ini batu bata yang digunakan adalah limbah batu bata dari kegiatan konstruksi yang sudah tidak terpakai. Limbah batu bata digunakan sebagai pengganti agregat pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu. Faktor penting yang mempengaruhi ikatan agregat dengan pasta semen adalah porositas dan absorpsi. Porositas adalah ukuran ruang kosong dalam suatu material. Absorpsi adalah banyaknya air yang terdapat pada permukaan kering jenuh (*Kasegic, 2008*).

**Tabel 2.4** Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Rata-Rata untuk Beton Ringan Struktural.

Berat isi kering udara 28 hari, maksimum ( $\text{kg/cm}^3$ )	Kuat tarik belah (tidak langsung) rata-rata (MPa)	Kuat tekan rata-rata, 28 hari, minimum (MPa)
	Semua agregat ringan	
1760	2,2	28
1680	2,1	21
1600	2,0	17
	Agregat ringan dan pasir	
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2,0	17
CATATAN 1 Nilai kuat tekan dan berat isi diambil dari rata-rata 2 buah benda uji sedangkan kuat tarik belah diambil rata-rata dari 6 benda uji,		
CATATAN 2 Nilai antara untuk kekuatan tekan dan nilai berat isi yang berkait dapat diperoleh dengan penambahan atau interpolasi,		
CATATAN 3 Bahan-bahan yang tidak memenuhi persyaratan kuat tarik rata-rata minimum dapat digunakan bila rancangannya dimodifikasi untuk mengimbangi nilai yang lebih rendah,		
CATATAN 4 $1 \text{ MPA} \approx 10 \text{ kg/cm}^2$		

(Sumber: SNI 03-2461-2002)

Dengan menggunakan limbah batu bata sebagai agregat pada campuran beton, memungkinkan untuk merancang campuran beton dengan cara yang sama dengan batu pecah pada umumnya. Absorpsi air limbah batu bata diestimasikan 22%-25% dari berat material dalam keadaan kering. Dengan perendaman selama 24 jam hanya meningkatkan absorpsi air sebanyak 2%. Dari studi tentang absorpsi air agregat limbah batu bata, limbah batu bata mendekati jenuh hanya dengan 30 menit perendaman dalam air (*Kasegic, 2008*).

## 2.5 Sistem Beton Pracetak

Beton pracetak (*precast*) dihasilkan dari proses produksi dimana lokasi pembuatannya berbeda dengan lokasi elemen akan digunakan. Lawan dari pracetak adalah beton cor di tempat atau *cast-in place*, dimana proses produksinya berlangsung di tempat elemen tersebut akan ditempatkan. (*Ervianto, 2006*)

Sistem struktur beton pracetak merupakan salah satu alternatif teknologi dalam perkembangan konstruksi di Indonesia yang mendukung efisiensi waktu, efisiensi energi, dan mendukung pelestarian lingkungan. (S.A. Nurjannah, 2011)

Sebagian besar dari elemen struktur pracetak dicetak ditempat tertentu (dapat dilokasi proyek ataupun diluar lokais proyek yang memang pada umumnya memproduksi elemen-elemen beton pracetak). Selanjutnya komponen-komponen tersebut dipasang sesuai keberadaannya sebagai komponen struktur, sebagai bagian dari sistem struktur beton.

Sistem pracetak mempunyai perbandingan-perbandingan dengan sistem konvensional sebagai berikut:

**Tabel 2.5** Perbandingan Sistem Konvensional Dengan Pracetak

<b>Item</b>	<b>Konvensional</b>	<b>Pracetak</b>
Desain	Sederhana	Membutuhkan wawasan yang luas terutama yang ada kaitannya dengan fabrikasi sistem, transportasi serta pelaksanaan atau pemasangan komponen, sistem sambungan dan sebagainya.
Bentuk dan ukurannya	Efisien untuk bentuk yang tidak teratur dan bentang-bentang yang tidak mengulang	Efisien untuk bentuk yang teratur/relatif besar dengan jumlah bentuk-bentuk yang berulang.
Waktu Pelaksanaan	Lebih Lama	Lebih cepat, karena dapat dilaksanakan secara paralel sehingga hemat waktu 20-25%.
Teknologi pelaksanaan	Konvensional	Butuh tenaga yang mempunyai keahlian.
Koordinasi pelaksanaan	Kompleks	Lebih sederhana, karena semua pengecoran elemen struktur pracetak telah dilakukan di pabrik.

**Tabel 2.5** Perbandingan sistem konvensional dengan pracetak lanjutan

Pengawasan / kontrol kerja	Bersifat kompleks, serta dilakukan dengan cara terus menerus.	Sifatnya lebih mudah karena telah dilakukan pengawasan oleh kualitas kontrol di pabrik.
Kondisi lahan	Butuh area yang relatif luas karena butuh adanya penimbunan material dan ruang gerak.	Tidak memerlukan lahan yang luas untuk penyimpanan material selama proses pengerjaan konstruksi berlangsung, sehingga lebih bersih terhadap lingkungan.
Kondisi cuaca	Banyak dipengaruhi oleh keadaan cuaca.	Tidak dipengaruhi cuaca karena dibuat di pabrik.
Ketepatan / akurasi ukuran	Sangat tergantung keahlian pelaksana.	Karena dilaksanakan di pabrik, maka ketepatan ukuran lebih terjamin.
Kualitas	Sangat tergantung banyak faktor, terutama keahlian pekerja dan pengawasan.	Lebih terjamin kualitasnya karena di kerjakan di pabrik dengan menggunakan sistem pengawasan pabrik.

Sumber: M. Ali Effendi (2004)

## 2.6 Beton Bertulang

SNI-2847-2002, beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Beton kuat terhadap tekan, tapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perlu tulangan untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton (Nawy, 1990).

## 2.7 Tulangan Bambu

Bambu adalah suatu bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penebangan rumpun-rumpun bambu di hutan rimba alami atau hasil dari budidaya. Ukuran panjang dan diameter batang tergantung dari jenis bambu yang dapat tumbuh hampir di seluruh daerah Indonesia. Bambu ini merupakan bahan yang dapat dipakai sebagai pengganti kayu terutama untuk bangunan ringan di pedesaan dan sebagai struktur pembantu atau sementara. (Suseno, 2010)

Bambu dengan bentuk batang beruas-ruas merupakan bahan heterogen namun untuk keperluan desain diidealisasikan homogen, seperti kayu juga merupakan bahan getas, orthotropis, dan dianggap elastis linier. Sifat mekanika bambu sangat dipengaruhi oleh jenis, umur penebangan, kadar air kesetimbangan batang dan bagian batang seperti pangkal, tengah, ujung, ruas beban tekan, dan lentur. Kuat lentur bambu berkisar (12,83-66,3) MPa, modulus elastisitas berkisar (2,38-10,10) GPa, kuat tekan sejajar serat berkisar (19,33-58,43) MPa, kuat tarik sejajar arah serat berkisar (115,3-309,3) MPa, kuat geser berkisar (3,95-6,14) MPa, dan kuat belah berkisar (4,14-5,82) MPa. (*Suseno, 2010*)

Beton bertulang bambu menggunakan bilah bambu sebagai tulangan yang akan menerima beban gaya tarik. Bambu akan menyusut 4 kali lipat dari beton sehingga pengikatan antara beton dan bambu akan menghilang. Penyusutan bambu diakibatkan oleh proses pengeringan. Karena beton pada waktu mengecor mengandung banyak air, tidak ada gunanya jika bambu dikeringkan terlebih dahulu. Permasalahan tersebut dapat ditanggulangi dengan mengeringkan bilah bambu yang akan digunakan sebagai tulangan beton, kemudian dicat dengan aspal cair (panas) yang ditaburi pasir. Sesudah aspal kering, dipasang paku 1" BWG 16 berjarak 75 mm. (*Heinz Frick, 2004*)

## **2.8 Sambungan Pracetak**

Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las). Menurut SNI 03-1729-2002, kuat rencana setiap komponen sambungan tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Perencanaan sambungan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

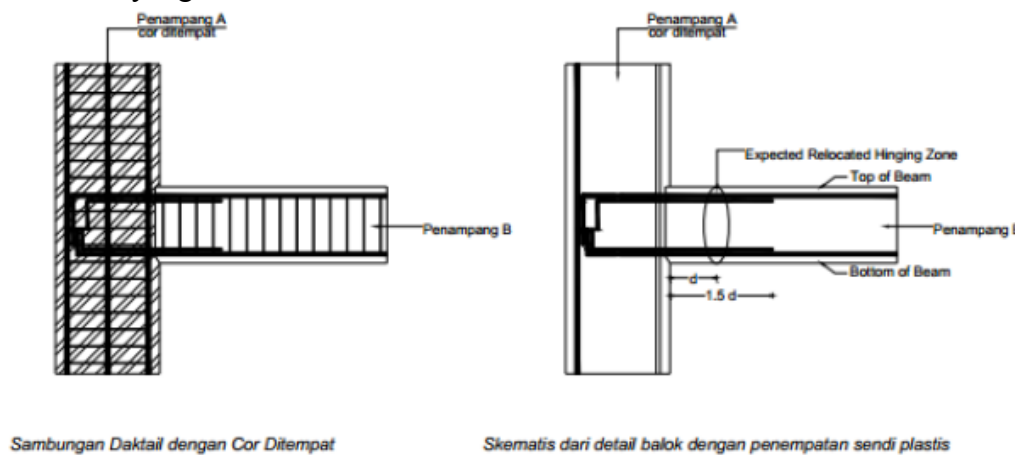
1. Gaya-dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan.
2. Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan.
3. Sambungan dan komponen yang berdekatan harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

Sambungan pracetak ada dua jenis yaitu sambungan basah dan sambungan kering. Sambungan pracetak sebisa mungkin dibuat sesederhana mungkin untuk dapat mudah dilaksanakan tetapi masih memenuhi kriteria sambungan yang disyaratkan. Sambungan pracetak yang baik adalah sambungan yang memiliki perilaku seperti sambungan monolit.



Sambungan kering merupakan sambungan yang menggunakan komponen daktail berupa metal atau detail beton tanpa diakhiri pengecoran. Sambungan kering mempunyai contoh berupa: sambungan dengan sistem tautan detail beton, sambungan dengan pelat dan baut, sambungan dengan pelat dan las, sambungan dengan sistem prestress.

Sambungan basah merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung/penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor ditempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan di cor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang monolit.



**Gambar 2.7** Sambungan Basah

(Sumber : *M.Ali Effendi, 2004*)

Kekuatan tulangan baja yang akan disambung pada pelat sambung harus mampu memikul kuat geser dan kuat tumpu. Pada kuat geser rencana dari suatu tulangan sebagai berikut:

$$T_u = \phi.T_n = \phi.m.r.f_u.A \quad (2-3)$$

Keterangan:

- $\phi = 0,75$  adalah faktor reduksi kekuatan untuk faktur
- $m$  adalah jumlah bidang geser
- $r = 0,5$  untuk tulangan baja polos pada bidang geser
- $f_u$  adalah tegangan tarik putus tulangan
- $A$  adalah luas bruto penampang tulangan pada bidang geser

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari tulangan atau pelat sambung. Kuat tumpu rencana tulangan dapat dihitung sebagai berikut:

$$T_u = \phi.T_n = \phi.2,4.db.tb.f_u \quad (2-4)$$

Keterangan:

$\phi = 0,75$  adalah faktor reduksi kekuatan untuk faktur

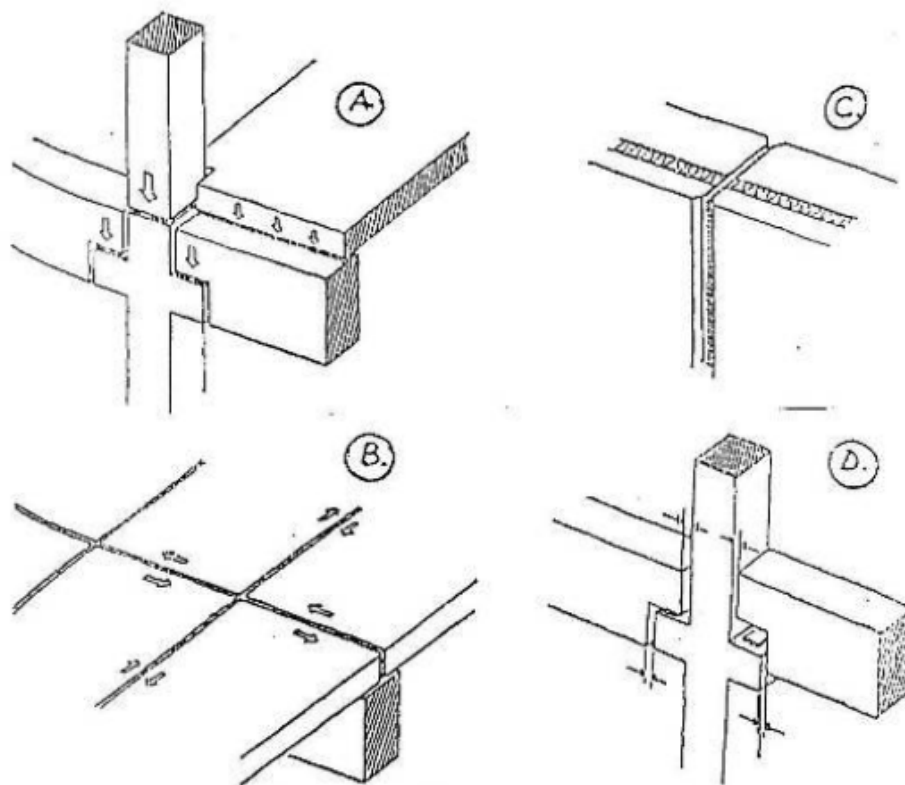
$d_b$  adalah diameter tulangan

$t_b$  adalah tebal pelat penyambung

$f_u$  adalah tegangan tarik putus tulangan

Pada umumnya sambungan-sambungan bisa dikelompokkan sebagai berikut:

1. Sambungan yang pada pemasangan harus langsung menerima beban (biasanya beban vertical) akibat berat sendiri dari komponen (lihat gambar. 2.8-A)
2. Sambungan yang pada keadaan akhir akan harus menerima beban, yang selama pemasangan diterima oleh pendukung pembantu (lihat gambar. 2.8-B)
3. Sambungan dimana tidak ada persyaratan-persyaratan ilmu gaya, tapi harus bisa memenuhi persyaratan-persyaratan lain, seperti kedekatan terhadap air, suara dan lain-lain (lihat gambar 2.8-C)
4. Sambungan-sambungan tanpa persyaratan konstruktif, dan semata-mata menyediakan ruang gerak untuk pemasangan (lihat gambar 2.8-D)



**Gambar 2.8** Macam-Macam Sambungan

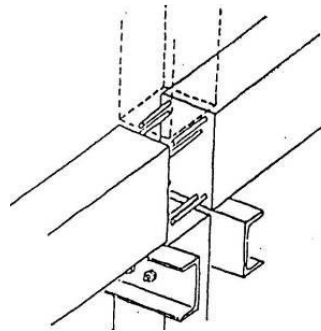
(Sumber : Indarwanto, M., tanpa tahun)

Cara mengikatkan/melekatkan suatu komponen terhadap bagian konstruksi yang lain, secara prinsipnya bisa dibedakan sebagai berikut:

## 1. Ikatan Cor

Penyaluran gaya-gaya dilakukan lewat beton yang dicor.

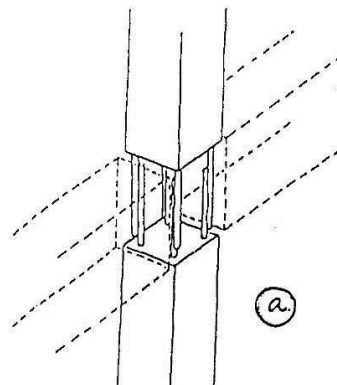
- Diperlukan penunjang/pendukung pembantu selama pemasangan sampai beton cor cukup untuk mengeras
  - Penyetelan berlangsung dengan bantuan adanya penunjang/pendukung pembantu.
- Toleransi diserap oleh coran beton



**Gambar 2.9** Sambungan dengan Ikatan Cor

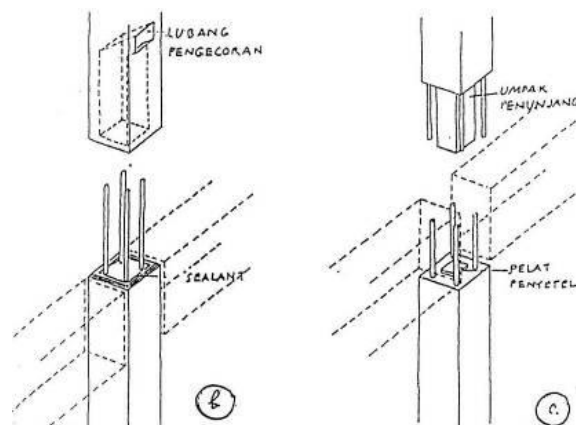
(Sumber : Muji Indarwanto, tanpa tahun)

Perkembangan lebih jauh dari ikatan cor ini dapat dilihat dari contoh-contoh berikut ini:



**Gambar 2.10** Sambungan dengan Ikatan Cor A

(Sumber : Indarwanto, M., tanpa tahun)



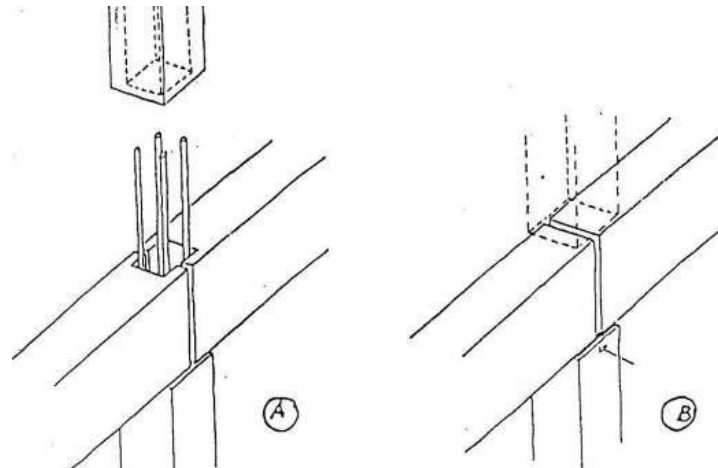
**Gambar 2.11** Sambungan dengan Ikatan Cor B dan C

(Sumber : *Indarwanto, M., tanpa tahun*)

## 2. Ikatan Terapan

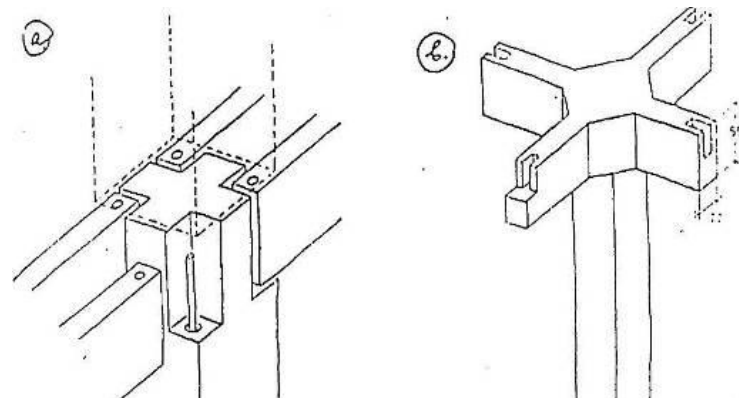
Cara menghubungkan komponen satu dengan yang lain secara lego (permainan balok susun anak), disebut ikatan terapan. Dimulai dengan hubungan dengan cara perletakan, teknik ini berkembang menjadi “saling menggigit”.

- Proses pemasangan dimungkinkan tanpa adanya pendukung/penunjang pembantu.



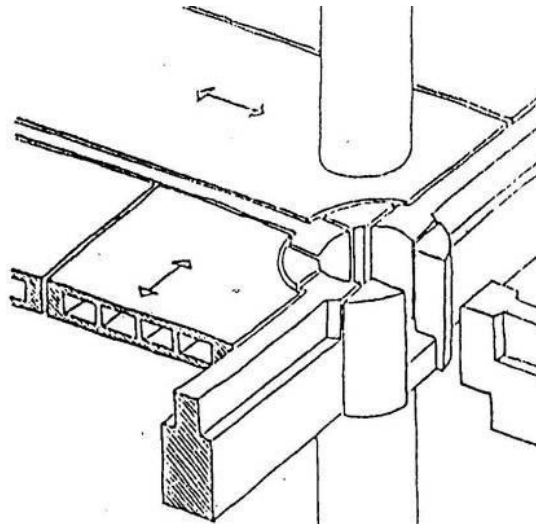
**Gambar 2.12** Sambungan dengan Ikatan Terapan

(Sumber : *Indarwanto, M., tanpa tahun*)



**Gambar 2.13** Macam-Macam Sambungan dengan Ikatan Terapan

(Sumber : *Indarwanto, M., tanpa tahun*)



**Gambar 2.14** Perkembangan Lebih Lanjut Sambungan dengan Ikatan Terapan

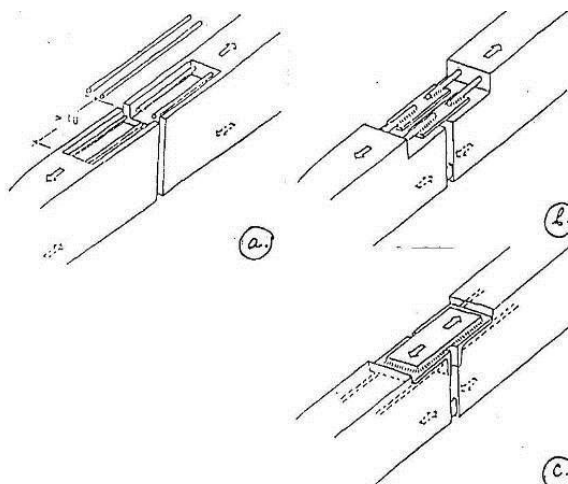
(Sumber : Indarwanto, M., tanpa tahun)

- Penyetelan dan perataan beton bias dilakukan pada bidang kontak dengan memakai aduk beton, neoprene, pelat baja, lempeng timah dan lain-lain
- Untuk menyalurkan gaya horizontal bisa dibantu baut, angker, dan lain-lain
- Gambar 2.14 bisa menggambarkan varian dan perkembangan dari teknik ini

### 3. Ikatan Baja

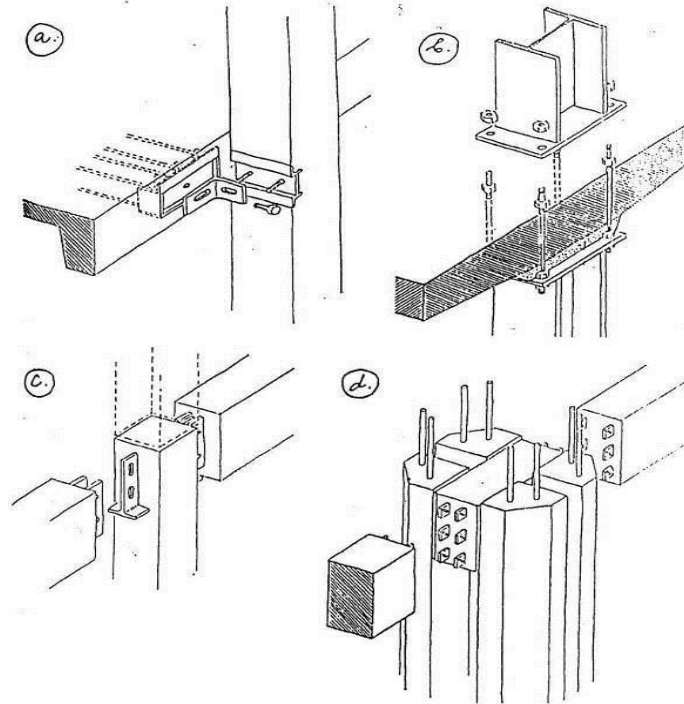
Sebagai bahan pengikat dalam ikatan ini dipakai baja, yang dalam hal ini bisa dibedakan sebagai berikut:

- Memakai Las
- Memakai baut/mur/ulir
  1. Harga dari profil baja sebagai bahan pengikat cukup tinggi.
  2. Mungkin dilaksanakan tanpa pendukung/penunjang pembantu
  3. Harus dilindungi terhadap karat dan api, yang kadang-kadang dilakukan dengan mencor beton sebagai pelindung / *finishing* dari ikatan.
  4. Contoh-contoh pada gambar 2.15, 2.16, dan 2.17 memberikan gambaran mengenai berbagai varian dalam pembentukan ikatan baja ini.



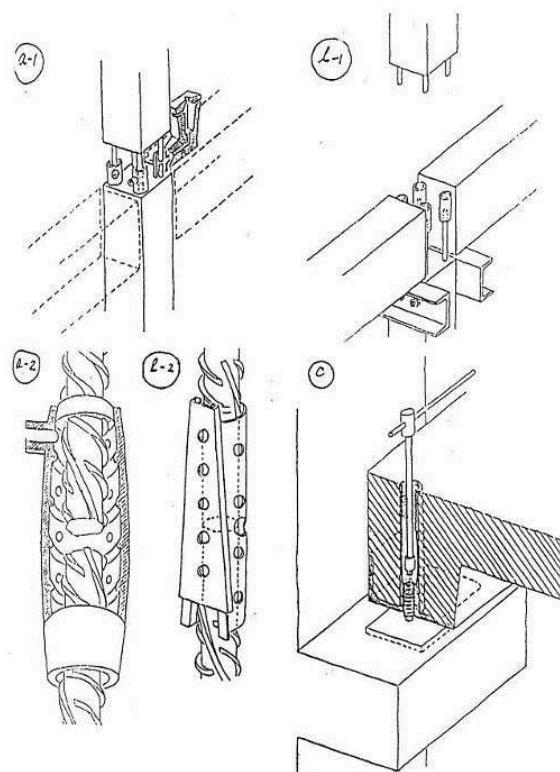
**Gambar 2.15** Teknik Pengelasan untuk Membentuk Ikatan

(Sumber : Indarwanto, M., tanpa tahun)



**Gambar 2.16** Pembentukan Ikatan Baja dengan Baut / Mur

(Sumber : Indarwanto, M., tanpa tahun)



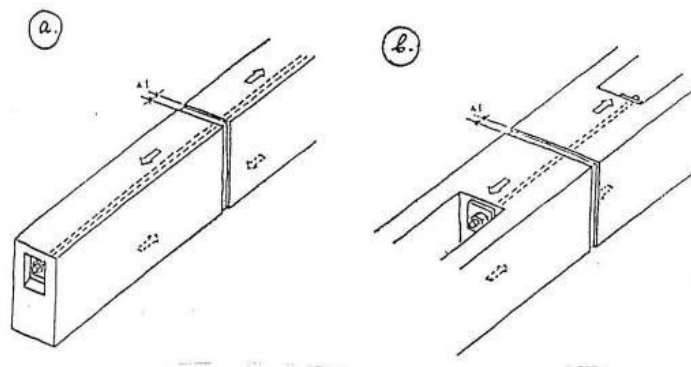
**Gambar 2.17** Beberapa Macam Teknik Mengikat Pada Ikatan Baja

(Sumber : Indarwanto, M., tanpa tahun)

#### 4. Ikatan Tegangan

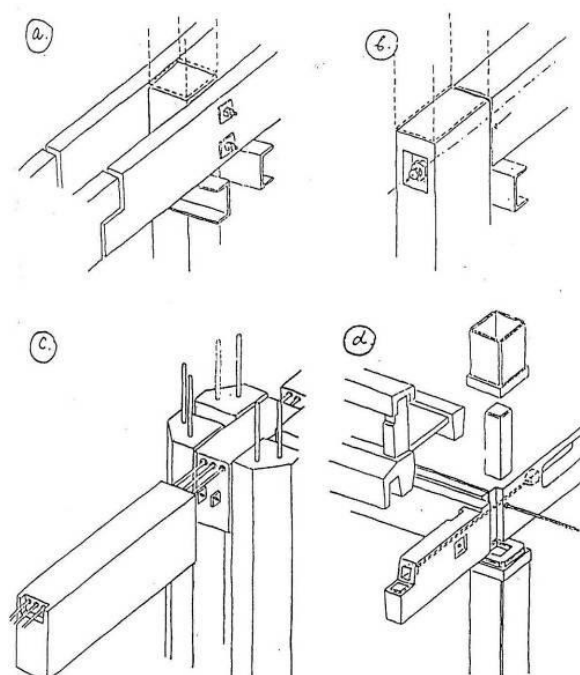
Merupakan perkembangan lebih jauh dari ikatan baja, dengan memasukkan faktor *post tensioning* kedalamnya.

- Memerlukan penunjang/pendukung pembantu selama pemasangan.
- Perlu tempat/ruang gerak untuk melakukan *post tensioning*.
- Angker-angker cukup mahal.



**Gambar 2.18** Sambungan dengan Ikatan Tegangan

(Sumber : Indarwanto, M., tanpa tahun)



**Gambar 2.19** Beberapa Macam Sambungan dengan Ikatan Tegangan

(Sumber : Indarwanto, M., tanpa tahun)

## 2.9 Sambungan Baut

Menurut SNI 03-1729-2002, sambungan tipe tumpu adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang dikencangkan dengan tangan, atau baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan gaya tarik minimum yang disyaratkan, yang kuat rencananya disalurkan oleh gaya geser pada baut dan tumpuan pada bagian-bagian yang disambungkan.

Kuat rencana setiap komponen sambungan tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Suatu baut yang memikul gaya terfaktor,  $R_u$ , harus memenuhi

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \quad (2-5)$$

Keterangan:

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan (0,75)

$R_u$  adalah kuat nominal baut

### 2.9.1. Tahanan Nominal Baut

#### Tahanan Geser Baut

Tahanan nominal satu buah baut yang memikul gaya geser memenuhi syarat persamaan:



$$Rn = m \cdot r_r \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (2-6)$$

Dengan:  $r_r = 0,50$  untuk baut tanpa ulir pada bidang geser  
 $r_r = 0,40$  untuk baut dengan ulir pada bidang geser  
 $f_u^b$  adalah kuat tarik baut (Mpa)  
 $A_b$  adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir  
 $m$  adalah jumlah bidang geser

### **Tahanan Tarik Baut**

Baut yang memikul gaya tarik tahanan nominalnya dihitung menurut:

$$Rn = 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (2-7)$$

Dengan:  $f_u^b$  adalah kuat tarik baut (Mpa)  
 $A_b$  adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

### **Tahanan Tumpu Baut**

Tahanan tumpu baut nominal tergantung kondisi yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Besarnya ditentukan sebagai berikut:

$$Rn = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \quad (2-8)$$

Dengan:  $d_b$  adalah diameter baut pada daerah tak berulir  
 $t_p$  adalah tebal pelat  
 $f_u$  kuat tarik putus terendah dari baut atau pelat

(Sumber : *Setiawan, Agus., 2008*)

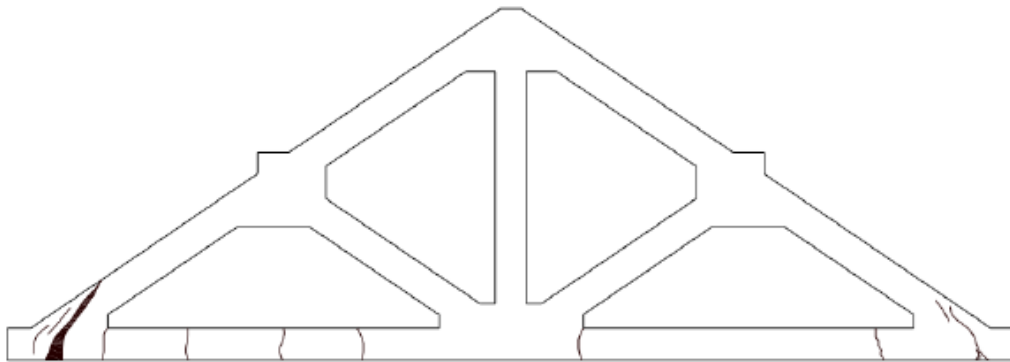
## **2.10 Pola Keruntuhan**

Model keruntuhan yang terjadi pada rangka batang dapat dilihat dari pola retak yang terjadi. Ada berbagai macam pola retak yang dapat terjadi apabila rangka batang yang terbuat dari beton komposit diberi beban vertikal. Pertama, keruntuhan akibat tarik pada batang yang membentuk pola retak berupa retakan-retakan tegak lurus batang diujung-ujung batang tarik. Pola retak akibat gaya tarik dapat dilihat seperti pada gambar berikut ini:



**Gambar 2.20** Pola Retak Akibat Gaya Tarik Aksial  
(Sumber : Wonlele, Tedy, et al., 2013)

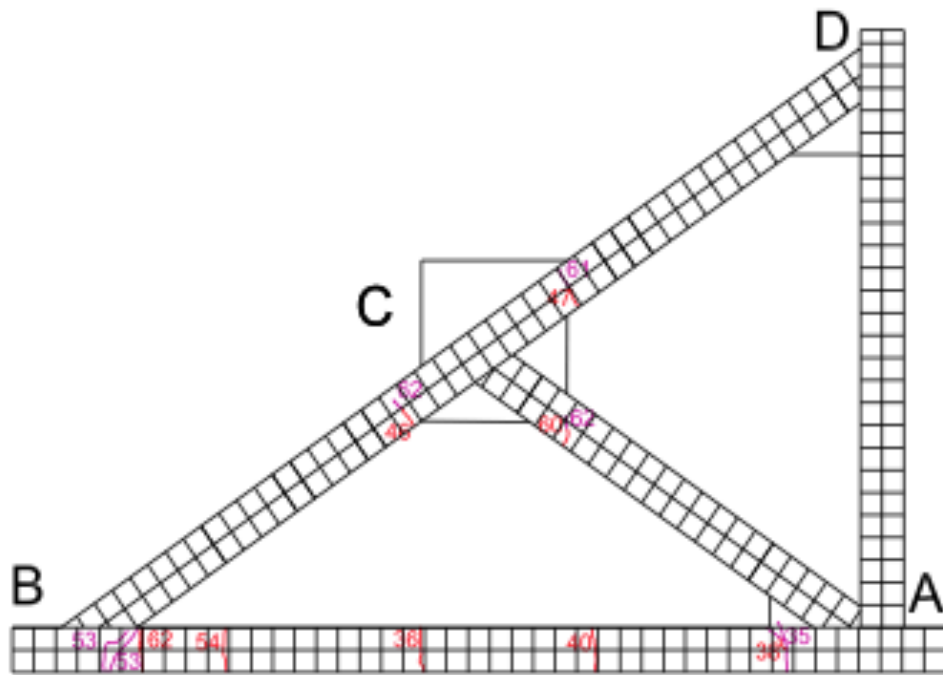
Pola retak yang berikutnya adalah pola retak akibat gaya geser dan tekan pada tumpuan. Bentuk pola retak akibat gaya ini berupa retakan-retakan miring terhadap balok tarik horisontal disekitar tumpuan. Hal ini menyebabkan keruntuhan total struktur. Pola retak akibat gaya geser dan tekan dapat dilihat seperti gambar berikut ini:



**Gambar 2.21** Pola Retak Akibat Gaya Geser dan Tekan Pada Tumpuan  
(Sumber : Wonlele, Tedy, et al., 2013)

Pada penelitian oleh Tedy Wonlele (2013), rangka kuda-kuda dengan tulangan bambu dan agregat kasar batu kerikil, memiliki tinggi 100 cm, dan panjang total 240 cm tanpa sambungan dapat menahan beban hingga 6136 kg.

Pola retak yang terjadi pada kuda-kuda komposit dengan agregat limbah batu bata pada penelitian sebelumnya menghasilkan retakan yang terjadi di bagian batang tarik dengan retakan pertama terjadi pada beban 1700 kg, dan mampu menahan beban maksimum rata-rata 3016,67 kg. Keruntuhan terjadi pada batang tarik AB dan terletak berdekatan dengan sambungan sudut titik B. Retakan tersebut kemudian membesar hingga benda uji akhirnya runtuh. (Paramita, Riezka P., 2016)



**Gambar 2.22** Pola Retak Kuda-Kuda Bertulang Bambu dengan Agregat Batu Bata

(Sumber : Paramita, Riezka P., 2016)

## 2.10. Hipotesis Penelitian

Setelah mempelajari materi dan tinjauan pustaka serta memahami permasalahan-permasalahan yang akan ditemukan dalam proses penelitian maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut:

1. Diduga kekuatan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang menggunakan sambungan pelat baut dalam menahan beban vertikal sama dengan kekuatan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang tidak menggunakan sambungan.
2. Diduga kekuatan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang menggunakan sambungan pelat baut dalam menahan beban horizontal sama dengan kekuatan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu pada hitungan teoritis nya.
3. Diduga pola retak yang terjadi pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang menggunakan sambungan pelat baut sama dengan pola retak yang terjadi pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu yang tidak menggunakan sambungan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilakukan di laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penelitian dilakukan dalam jangka waktu kurang lebih 3 bulan.

#### **3.2. Alat dan Bahan Penelitian**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a) Satu set ayakan dengan *motorized dynamic shieve shaker* merek Forney.
- b) Timbangan digital.
- c) Sendok semen dan tongkat pemadat.
- d) Cetakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
- e) Mistar
- f) Kuas.
- g) Ember.
- h) Waterpass.
- i) Alat uji tekan beton.
- j) Mesin pencampur beton (concrete mixer).
- k) Portal pengujian (Frame Uji) kapasitas 25 ton.
- l) Proving Ring kapasitas 10 ton.
- m) Alat pengukur defleksi (Dial Gauge).
- n) Pompa Hidrolik kapasitas 25 ton.
- o) Klem

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Semen yang digunakan adalah Semen PPC Tipe 1 produksi PT Semen Gresik.
- b) Agregat kasar yang digunakan berupa limbah batu bata.
- c) Pasir yang dipakai pasir yang ada di pasaran Kota Malang.
- d) Air yang dipakai air ledeng (PDAM) Kota Malang.
- e) Tulangan bambu dengan diameter 10 x 10 mm.
- f) Vernis.
- g) Cat Besi.

- h) Kayu bekisting (triplek)
- i) Tulangan besi diameter 6 mm ( $\varnothing 6$ ) untuk sengkang.
- j) Tulangan besi diameter 10 mm ( $\varnothing 10$ ) untuk sambungan.
- k) Pelat besi dengan bentuk U dengan tebal 5 mm untuk sambungan antar kuda-kuda.
- l) Baut baja dengan diameter 12,7mm ( $1/2''$ ) untuk sambungan antar kuda-kuda.

### 3.3. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

Benda Uji dalam penelitian ini terdapat 4 (empat) benda uji kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu. Kuda-kuda tipe A merupakan setengah kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu dengan limbah batu bata sebagai agregat kasar sebanyak 8 buah yang kemudian disambung menggunakan sambungan pelat baut membentuk 4 buah kuda-kuda. Semua benda uji memiliki ukuran penampang (8 x 8) cm untuk setiap batang dengan panjang bentang struktur rangka kuda-kuda adalah 2 kali 150 cm dan tinggi 100 cm.

Pengujian kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu tipe A sebagai benda uji dalam penelitian ini akan dilakukan setelah berumur 28 hari. Pengujian dilakukan untuk mencari beban maksimum dan penurunan yang terjadi, lalu pola retak yang terjadi pada rangka kuda-kuda dan sambungan pelat baut akan dilihat dan dicatat perpindahannya hingga runtuh. Benda uji diberi beban tetap pada titik simpul atas sebagai pengganti beban penutup atap dan dipasang tumpuan di kedua sisi kuda-kuda berupa baja yang sangat kaku yang sudah ada di laboratorium. Adanya tumpuan ini diharapkan berperilaku seperti tumpuan sendi-rol.

### 3.4. Prosedur Penelitian

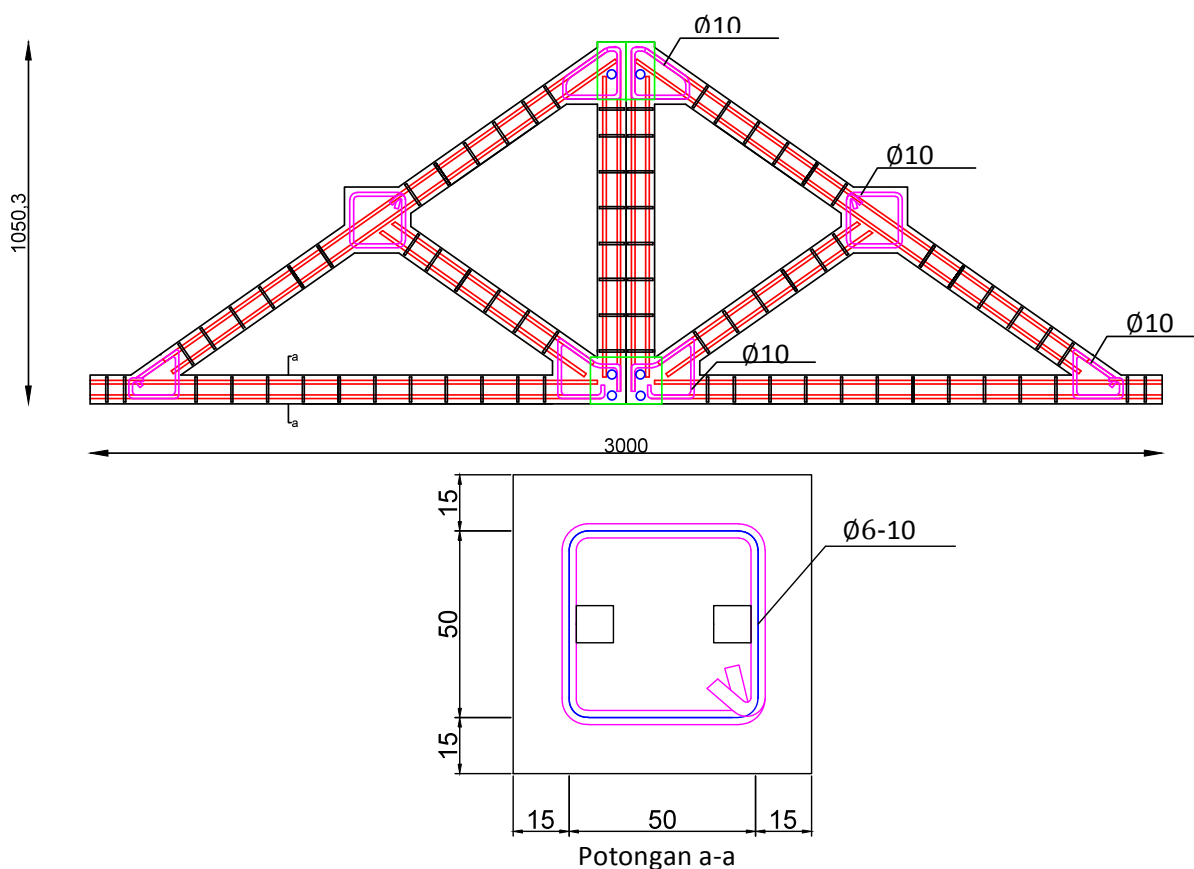
Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dalam pengujian laboratorium adalah sebagai berikut:

1. Pecahan batu bata ditumbuk hingga memenuhi syarat gradasi sesuai *mix design* yang telah direncanakan.
2. Agar diketahui kuat tekan beton, maka dibuat 3 (tiga) buah benda uji berbentuk silinder.
3. Pengujian silinder uji beton pada umur 7 hari untuk mengetahui besar kekuatan tekan dari campuran beton. Mutu beton yang direncanakan ialah sebesar 22,5 Mpa.
4. Pembuatan bekisting benda uji kuda-kuda yaitu 8 (delapan) buah setengah kuda-kuda komposit dimensi 8x8 cm untuk setiap batang.

5. Pemasangan dan perakitan tulangan bambu yang sudah divernis dan dilapisi pasir dengan diameter 10 mm dengan sengkang besi diameter 6 mm jarak 10 cm.
6. Pengecoran benda uji kuda-kuda beton komposit bertulang bambu sesuai *mix design*.
7. Perawatan (*curing*) pada kuda-kuda beton dengan menyirami dengan air serta menutupi dengan kain basah.
8. Penimbangan 8 (delapan) buah benda uji dan benda uji kontrol 28 hari setelah pengecoran.
9. Penyambungan 8 (delapan) buah setengah kuda-kuda menjadi 4 (empat) kuda-kuda menggunakan sambungan pelat baut berbentuk U dengan tebal pelat 3 mm, dan ukuran baut 12,7 mm.
10. Pengujian dilakukan setelah semua benda uji kuda-kuda beton berumur 28 hari. Pengujian menggunakan alat uji di laboratorium dengan memberi beban pada kuda-kuda beton dan mengukur lendutan dengan alat pembaca lendutan (*dial gauge*).

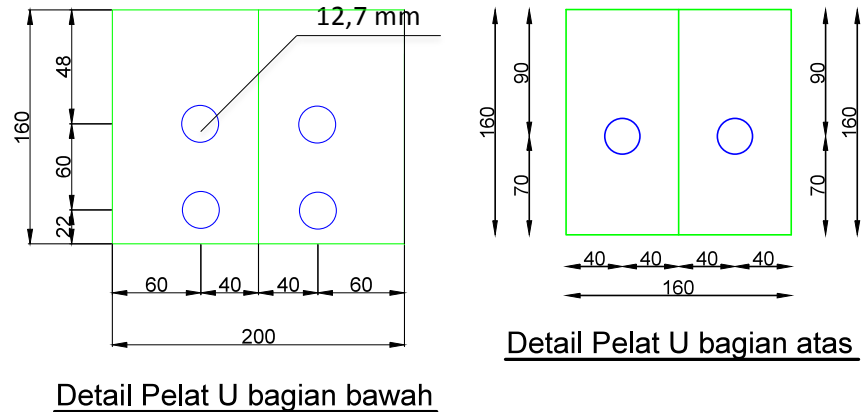
### 3.5. Pemodelan Tulangan Bambu

Dalam penelitian ini, desain penulangan serta dimensi dari kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1** Desain Penulangan Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

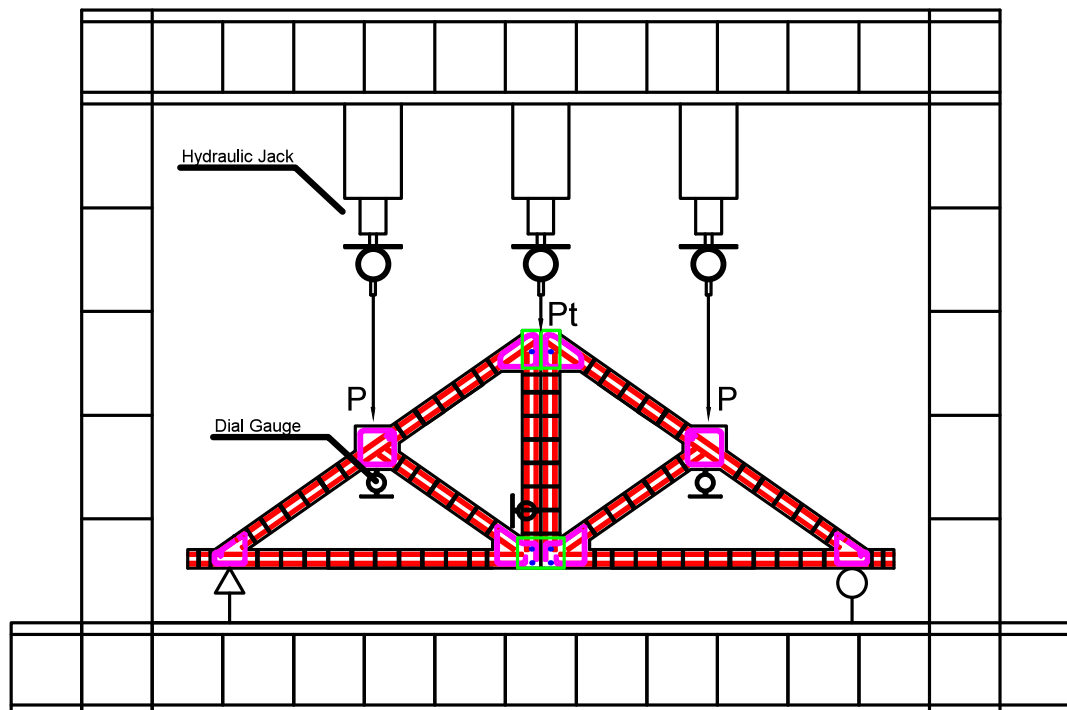
Detail sambungan pelat baut yang digunakan pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut.



**Gambar 3.2** Detail Sambungan Pelat Baut Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

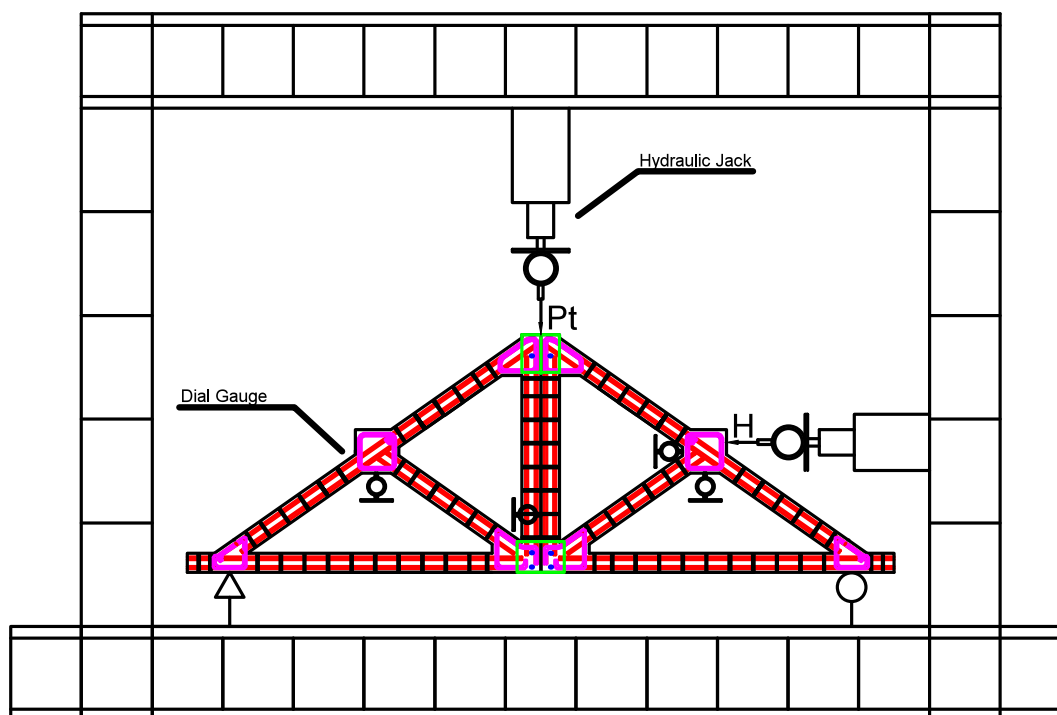
### 3.6. Pemodelan Pembebanan

Pengujian kuda-kuda beton komposit bertulangan bambu dilakukan 28 hari setelah dilakukan pengecoran. Kuda-kuda diletakkan pada rangka pembebanan dan diberi beban tetap di titik simpul atas ( $P_T$ ), kemudian dilakukan pembebanan yang terus bertambah dengan alat uji tekan vertikal ( $P$ ) dan horizontal ( $H$ ). Setelah alat dan benda uji siap, pengujian dilakukan secara bertahap sampai mencapai beban maksimum saat benda uji mulai menampakkan retak pada kuda-kuda. Adapun skema pembebanan untuk kuda-kuda dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Skema Pembebanan Benda Uji dengan Beban Vertikal Simetris





**Gambar 3.4** Skema Pembebanan Benda Uji dengan Beban Horizontal

### 3.7. Metode Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan pengujian benda uji sebanyak 4 buah. Pengambilan data dilakukan dengan mencatat beban yang diberikan pada saat keruntuhan yang dapat dilihat dengan adanya retak yang mulai terjadi, serta penurunan yang terjadi dari pemberian beban tersebut.

### 3.8. Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan melakukan beberapa pengujian. Sebagai pendahuluan dilakukan pengujian kuat tekan beton berbentuk silinder dengan batu bata sebagai agregat kasar. Mutu beton yang direncanakan ialah sebesar 22,5 MPa. Setelah benda uji kuda-kuda beton komposit tulangan bambu berumur 28 hari dilakukan pengujian untuk pengambilan data beban dan lendutan atau perpindahan titik.

#### 3.8.1. Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

**Tabel 3.1** Form Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Benda Uji	Berat	Berat Isi	Berat Isi Rata-Rata	P max	Kuat Tekan 7 hari	Kuat Tekan 28 hari	Kuat Tekan Rata-Rata
	kg	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	...	...		...	...	...	
2	...	...	...	...	...	...	...
3	...	...		...	...	...	

### 3.8.2. Pengujian Rangka Kuda-Kuda Beton

Adapun rancangan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Pengambilan Data Beban dan Lendutan

Kuda-Kuda Tipe B						
P	Perpindahan Titik LVDT			Perpindahan $\Delta$ (mm)		
Kg	d1	d2	d3	$\Delta d1$	$\Delta d2$	$\Delta d3$
0	...	...	...	...	...	...
50	...	...	...	...	...	...
100	...	...	...	...	...	...

### 3.9. Analisis Kuda-Kuda Beton Komposit

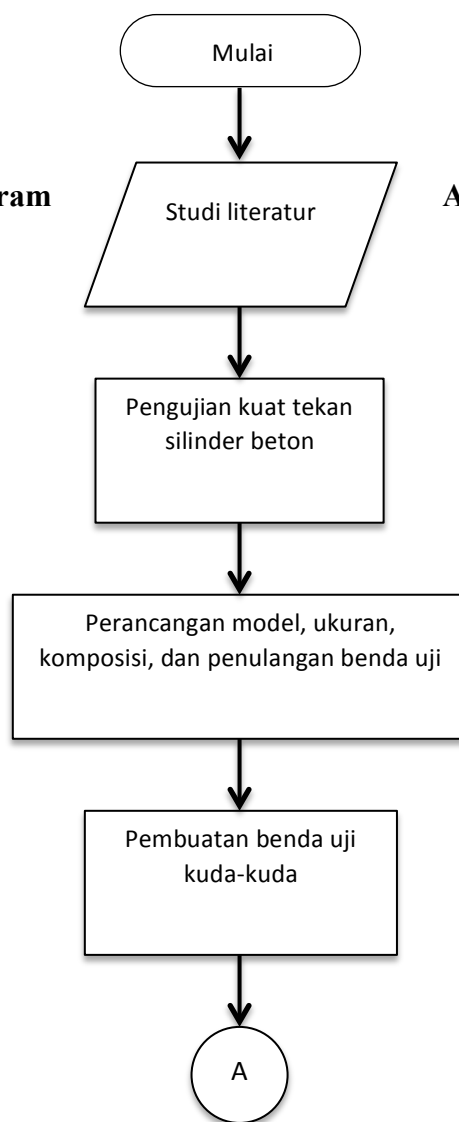
1. Mengetahui beban maksimum teoritis dan aktual yang mampu ditahan pada kuda-kuda komposit tulangan bambu dengan agregat kasar limbah batu bata yang disambung dengan menggunakan sambungan pelat baut.
2. Mengetahui kekuatan dan pola retak rangka kuda-kuda dengan sambungan pelat baut pada struktur rangka kuda-kuda beton bertulangan bambu dengan agregat limbah batu bata terhadap beban yang diberikan.

### 3.10. Variabel Penelitian

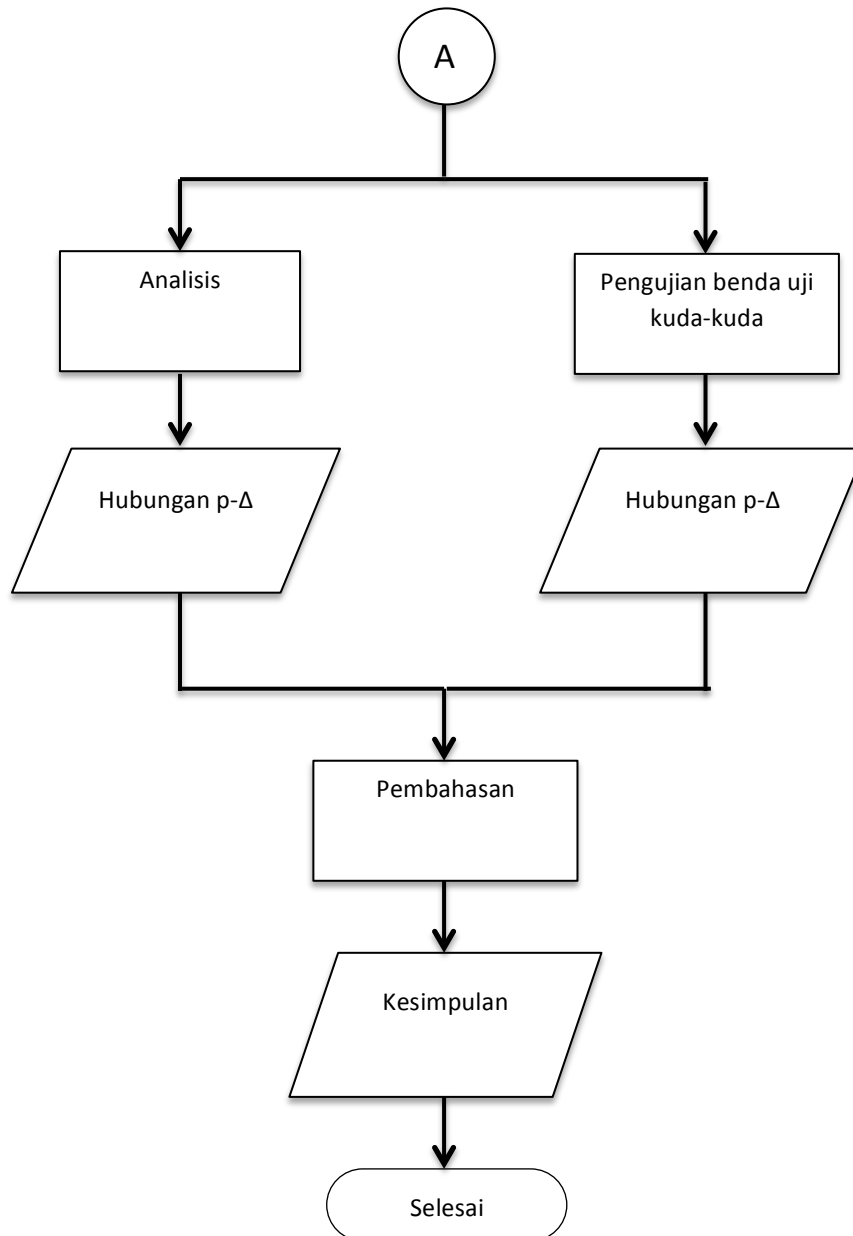
Variabel dalam penelitian ini disajikan dalam **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.3** Variabel Bebas dan Terikat Penelitian

No.	Pengujian	Variabel Bebas	Variabel Terikat
1.	Pengujian beban pada kuda-kuda beton komposit tulangan bambu agregat limbah batu bata dengan menggunakan sambungan pelat baut.	Pembebanan secara vertikal dan horizontal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beban maksimum yang mampu ditahan, kekuatan rangka kuda-kuda dengan sambungan pelat baut serta pola retak yang terjadi.</li> <li>• Lendutan atau perpindahan yang terjadi pada titik yang ditinjau</li> </ul>

**3.11. Diagram****Alir Penelitian**

**Gambar 3.5** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.5** Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pengujian Bahan

Dalam penelitian ini, pengujian utama ialah untuk mengetahui kinerja sambungan pelat baut sebagai alat sambung pada kuda-kuda komposit tulangan bambu. Sebelum dilakukan pengujian utama, diperlukan pengujian yang dilakukan terlebih dahulu guna melengkapi data hasil pengujian utama yaitu pengujian bahan penyusun beton. Pengujian bahan tersebut meliputi, analisis agregat halus maupun kasar, perencanaan *Mix Design* dan uji tekan silinder beton.

##### 4.1.1. Analisis Agregat Halus

Agregat halus, dalam penelitian ini menggunakan pasir asal Lumajang, Jawa Timur yang disimpan dalam karung tanpa ada perlakuan khusus. Hasil analisis agregat halus adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1 *Hasil Analisis Agregat Halus (Pasir)*

Analisis	Nilai	Satuan
Modulus kehalusan	3,192	
Kadar air	0,424	%
Berat jenis kering permukaan jenuh	2,596	
Penyerapan air	0,624	%
Berat isi ( <i>Rodded</i> )	1736,967	gr/cc
Berat isi ( <i>Shoveled</i> )	1566,249	gr/cc
Gradasi	Zona 1	

##### 4.1.2. Analisis Agregat Kasar

Untuk agregat Kasar yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah batu bata, dimana batu bata yang digunakan ialah batu bata limbah bangunan yang didapatkan dari berbagai tempat seperti reruntuhan Gedung B Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Selanjutnya batu bata yang terkumpul di bagi berdasarkan ukuran gradasi yang diperlukan. Sehingga mendapat analisis agregat kasar batu bata sebagai berikut.

Tabel 4.2 Hasil Analisis Agregat Kasar (Batu Bata)

Analisis	Nilai	Satuan
Modulus kehalusan	8,95	
Kadar air	1,6773	%
Berat jenis kering permukaan jenuh	1,827	
Penyerapan air	28,864	%
Berat isi ( <i>Rodded</i> )	872,754	gr/cc
Berat isi ( <i>Shoveled</i> )	811,508	gr/cc
Gradasi	Zona 3	

Berdasarkan data pada tabel 4.2 diatas, penyerapan air atau daya absorpsi yang terjadi pada agregat kasar batu bata memiliki nilai yang sangat besar.

#### 4.1.3. Tulangan Bambu

Pemeriksaan tegangan leleh rata-rata bambu dilakukan dengan pengujian bambu. Dari pengujian sebelumnya didapat nilai tegangan tarik rata-rata bambu sebesar 149,67 MPa (Ummiati, 2009), regangan rata-rata bambu sebesar 0,003 dan modulus elastisitas rata-rata bambu sebesar 9000 MPa (Janssen, 1991).

#### 4.1.4. Perencanaan *Mix Design*

Perencanaan *mix design* pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Beton dengan menggunakan campuran agregat kasar batu bata memiliki daya serap air yang sangat tinggi sehingga cenderung mengalami perlemahan pada hasil pengujian kuat tekan.

Hasil perencanaan *mix design* agregat batu bata dapat pada tabel berikut

Tabel 4.3 Data Hasil *Mix Design* Beton Agregat Batu Bata

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	22,5 Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-
3	Nilai Tambah (Margin)	(K=1,64) 1,64*(2)	12 Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	34,5 Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu Bata
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	0,52
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6
9	Slump	Ditetapkan	60-180 mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	205 kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (7)	394,231 kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-

14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	325 kg/m <sup>3</sup>	
15	FAS yg disesuaikan	-	-	
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	Zona 1	
17	Persen agregat halus	Grafik 13 - 15	54 %	
18	Berat Jenis Relatif Agregat (SSD)	Diketahui	2,544	kg/m <sup>3</sup>
19	Berat isi beton	Grafik 16	2312,5	kg/m <sup>3</sup>
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1713,269	kg/m <sup>3</sup>
21	Kadar agregat halus	(17) * (20)	925,165	kg/m <sup>3</sup>
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	788,104	kg/m <sup>3</sup>
Banyaknya Bahan		Semen	Air	Ag. Halus
(Teoritis)		( kg )	( kg/lt )	Ag. Kasar
		( kg )	( kg )	( kg )
Tiap m <sup>3</sup> dg ketelitian 5kg (Teoritis)		394,23	205	925,165
Tiap campuran uji 0,03082 m <sup>3</sup>		12,15	6,32	28,51
Tiap m <sup>3</sup> dg ketelitian 5kg (Aktual)		394,23	421,11	923,316
		12,150		573,844
Tiap campuran uji 0,03082 m <sup>3</sup>		2	12,9786	28,4566
				17,6859
Proporsi (Teoritis) (1/3)		1	0,52	2,35
Proporsi (Aktual)		1	1,07	2,34
				1,46

Berdasarkan tabel hasil perencanaan *mix design* agregat batu bata di atas dapat diketahui bahwa untuk membuat satu buah kuda-kuda dengan volume 0,03082 m<sup>3</sup> dibutuhkan 12,15 kg semen, 12,98 kg air, 28,46 kg agregat halus (pasir), dan 17,69 kg agregat kasar (batu bata).

#### 4.1.5. Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Uji kuat tekan silinder beton dilakukan pada umur beton 7 hari. Berdasarkan tabel 4.4, diperlukan koreksi kuat tekan beton terhadap umur beton menjadi 28 hari. Benda uji silinder dibuat sebanyak 3 buah silinder. Karakteristik silinder dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.4 *Tabel Koreksi Umur Beton*

No	Umur Beton Hari	Perbandingan Kuat Tekan
1	3	0,40
2	7	0,65
3	14	0,88
4	21	0,95
5	28	1,00
6	90	1,20
7	365	1,35

Sumber: PBI (1971 Halaman 34)

Tabel 4.5 *Karakteristik Benda Uji Silinder Beton*

No	Nama	Nilai	Satuan
1	Dimensi Silinder Beton	Diameter 15 Tinggi 30	cm
2	Luas Penampang (A)	17662,5	mm <sup>2</sup>
3	Volume Benda Uji (V)	0,005299	m <sup>3</sup>
4	Umur Beton	7	Hari
5	Koreksi Umur Beton	0,65	

Tabel 4.6 *Hasil Uji Kuat Tekan Silinder Beton*

Benda Uji	Berat	Berat Isi	Berat Isi Rata-Rata	P max	Kuat Tekan 7 hari	Kuat Tekan 28 hari	Kuat Tekan Rata-Rata
	kg	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	10,45	1972,1632		144	8,1529	12,5429	
2	10,50	1981,5994	1969,0179	103	5,8316	8,9716	10,8008
3	10,35	1953,2909		125	7,0771	10,8879	

Dari hasil pengujian kuat tekan silinder pada tabel 4.6 dapat dilihat terdapat selisih yang besar antara hasil kuat tekan uji silinder aktual dengan nilai kuat tekan rencana. Hal ini terjadi dikarenakan karakteristik agregat kasar yaitu batu bata yang digunakan memiliki daya serap air atau absorpsi yang besar sehingga sangat berpengaruh pada susut silinder beton dan pada kuat tekannya.

#### 4.2. Pengujian Pembebanan Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

Pengujian kuat tekan kuda-kuda ini dilakukan setelah umur kuda-kuda beton komposit mencapai umur 28 hari dan telah melalui proses perawatan (*curing*). Proses *curing* dilakukan dengan cara menutupi benda uji kuda-kuda dengan karung goni yang dibasahi setiap hari hingga 14 hari setelah bekisting dilepas. Hal ini dilakukan untuk memperlambat proses hidrasi beton sehingga mampu mencegah terjadinya retakan pada benda uji.

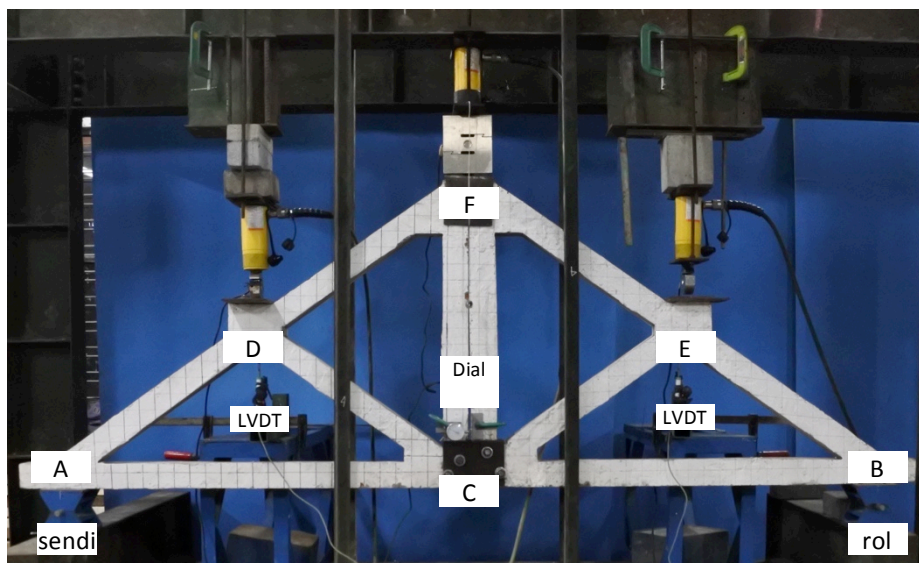
Sebelum dilakukan pengujian, dilakukan pengukuran dimensi awal serta berat benda uji sebagai data awal. Dikarenakan pengujian ini akan menguji kinerja sambungan sebagai alat penyambung kuda-kuda, maka sambungan pelat baut terlebih dahulu dipasang sebelum dilakukan pengujian di *frame* uji.



Pada penelitian ini, pembebanan dibagi menjadi 2 (dua) jenis yaitu beban secara vertikal simetris dan beban secara horizontal. Dimana pembebanan secara vertikal simetris dilakukan dengan menggunakan 3 (tiga) beban, yaitu 1 (satu) beban tetap di titik D dan 2 (dua) beban bergerak dengan interval yang sama di titik D dan E arah vertikal. Untuk pembebanan secara horizontal dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) beban, yaitu 1 (satu) beban tetap di titik D dan 1 (satu) beban bergerak di titik E arah horizontal.

#### 4.2.1. Pengujian Beban Vertikal Simetris Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

Pengujian pertama yang dilakukan adalah pengujian dengan beban vertikal simetris, yaitu menggunakan beban vertikal dengan nilai yang bertambah (*incremental load*) pada titik D dan E, serta satu beban tetap vertikal di titik F sebesar 100 kg. Benda uji yang sudah mencapai 28 hari akan dipersiapkan untuk pengujian seperti pada gambar 4.1. benda uji diletakkan pada frame uji dengan tumpuan sendi-rol. Untuk mengetahui deformasi yang terjadi, benda uji dilengkapi LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) di titik D dan titik E pada posisi vertikal, serta *Dial Gauge* pada Batang tengah untuk mengetahui kinerja sambungan pada titik C dalam menahan beban yang bekerja.



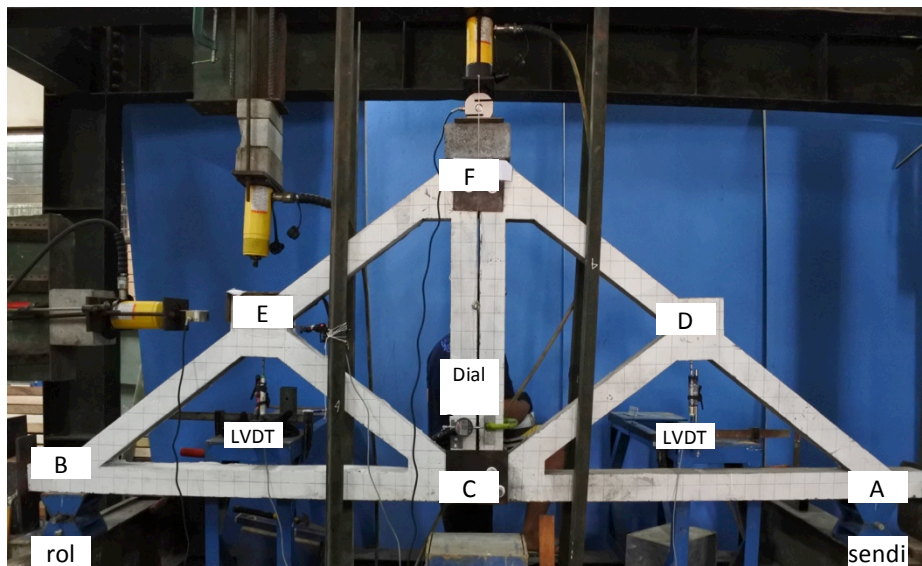
Gambar 4.1 Pembebanan Vertikal Simetris Kuda-Kuda Beton Komposit di Frame Uji

Pengujian beban vertikal pada kuda-kuda beton komposit juga menghasilkan hubungan antar besar beban dan perpindahan yang terjadi. Pembebanan bertambah pada pengujian dilakukan bertahap dengan interval 50 kg sampai benda uji mengalami keruntuhan untuk memudahkan dalam pencatatan data deformasi titik yang ditinjau. Titik yang ditinjau merupakan titik kritis dimana beban vertikal bekerja tepat di titik tersebut.

Benda uji diberi beban tetap ( $P_T$ ) pada titik F sebesar 100 kg dengan tujuan sebagai pengganti beban pada rangka atap dan sebagai penyeimbang (*counter balance*) agar benda uji tidak terguling. Beban bertambah ( $P_i$ ) di titik D dan E terus diberikan dengan interval 50 kg hingga mencapai keruntuhan atau kondisi batas maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji. Pemasangan LVDT di titik D dan E pada posisi vertikal (d1 dan d2) untuk mengetahui besar perpindahan yang terjadi di titik tersebut, serta pembacaan *dial gauge* sebagai indikator perpindahan batang tengah secara horizontal (d3) yang berada di dekat titik sambungan pelat baut yaitu di titik C.

#### 4.2.2. Pengujian Beban Horizontal Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu

Pengujian kedua yang dilakukan adalah pengujian dengan beban horizontal, yaitu menggunakan beban horizontal dengan nilai yang bertambah (*incremental load*) pada titik E, serta satu beban tetap vertikal di titik F sebesar 100 kg. Benda uji yang sudah mencapai 28 hari akan dipersiapkan untuk pengujian seperti pada gambar 4.2. benda uji diletakkan pada frame uji dengan tumpuan sendi-rol. Untuk mengetahui deformasi yang terjadi, benda uji dilengkapi LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) di titik D pada posisi vertikal dan titik E pada posisi vertikal dan horizontal, serta *Dial Gauge* pada Batang tengah untuk mengetahui kinerja sambungan pada titik C dalam menahan beban yang bekerja.



Gambar 4.2 Pembebanan Horizontal Kuda-Kuda Beton Komposit di Frame Uji

Pengujian beban horizontal pada kuda-kuda beton komposit juga menghasilkan hubungan antar besar beban dan perpindahan yang terjadi. Pembebanan bertambah pada pengujian dilakukan bertahap dengan interval 50 kg sampai benda uji mengalami keruntuhan untuk memudahkan dalam pencatatan data deformasi titik yang ditinjau. Titik yang ditinjau merupakan titik kritis dimana beban horizontal bekerja tepat di titik tersebut.

Benda uji diberi beban tetap ( $P_T$ ) pada titik F sebesar 100 kg dengan tujuan sebagai pengganti beban pada rangka atap dan sebagai penyeimbang (*counter balance*) agar benda uji tidak terguling. Beban bertambah (H) di titik E terus diberikan dengan interval 50 kg hingga mencapai keruntuhan atau kondisi batas maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji. Pemasangan LVDT di titik D pada posisi vertikal (d3) dan E pada posisi vertikal dan horizontal (d1 dan d2) untuk mengetahui besar perpindahan yang terjadi di titik tersebut, serta pembacaan *dial gauge* sebagai indikator perpindahan batang tengah secara horizontal (d4) yang berada di dekat titik sambungan pelat baut yaitu di titik C.

#### **4.3. Hasil Pengujian Pembebanan Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu**

Hasil dari pengujian kuda-kuda beton tulangan bambu dengan agregat kasar batu bata dan divariasikan dengan menggunakan dua jenis pembebanan meliputi pengukuran berat dari benda uji itu sendiri (Kuda-kuda beton tulangan bambu), beban maksimum yang mampu ditahan sampai terjadi keruntuhan pada rangka kuda-kuda, dan penurunan aktual yang terjadi. Berdasarkan hasil aktual pengujian ini selanjutnya dilakukan beberapa analisis perbandingan untuk memperoleh beberapa hasil, antara lain perbandingan berat benda uji aktual dan teoritis, perbandingan beban maksimum aktual dan teoritis, perbandingan penurunan aktual dan teoritis serta hubungan antara beban dan penurunan di titik tinjau pada setiap benda uji.

##### **4.3.1. Berat Per Volume Benda Uji Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu**

Berat sendiri dari benda uji kuda-kuda beton tulangan bambu agregat batu bata dengan sambungan pelat baut ditunjukkan dalam tabel 4.7. Selanjutnya dengan volume benda uji rangka kuda-kuda sebesar 0,06164m<sup>3</sup> maka dapat diperoleh berat benda uji per satuan volume.

Berat rata-rata untuk benda uji tipe A dengan variasi beban vertikal simetris ialah sebesar 133,98 kg, dan untuk tipe A dengan variasi beban horizontal ialah sebesar 137,18 kg. Benda uji yang terberat ialah benda uji tipe A-2 dengan berat 140,80 kg, dan benda uji yang teringan ialah benda uji tipe A-5 dengan berat 133,50 kg.

Tabel 4.7 *Berat Per Volume Aktual Benda Uji Kuda-Kuda Beton Komposit*

Benda Uji	No.	Jenis Pembebanan	Berat Benda Uji (kg)	Berat Rata-Rata (kg)	Volume Benda Uji (m <sup>3</sup> )	Berat/Volume (kg/m <sup>3</sup> )
Tipe A	1	Horizontal	133,55	137,18	0,06164	2284
	2	Horizontal	140,8			
	5	Verikal Simetris	133,5	133,98	0,06164	2174
	6	Vertikal Simetris	134,45			

Keterangan :

Tipe A : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut

#### 4.3.2. Perbandingan Berat Benda Uji Aktual dan Teoritis

Dari hasil pengujian bahan uji silinder beton di dapatkan berat isi beton untuk benda uji rangka kuda-kuda beton bertulang bambu. Sesuai dengan SNI 03-2834-2000, volume benda uji dibuat dalam bentuk silinder beton berdimensi 0,005 m<sup>3</sup>, dari hasil tersebut dapat dihitung berat per volume dari masing-masing benda uji secara teoritis, sehingga diperoleh hasil perbandingan berat sendiri per volume benda uji secara aktual dan teoritis yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Berdasarkan hasil tabel perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa terdapat selisih berat benda uji dari variasi sambungan secara teoritis dan hasil penimbangan yang dilakukan di laboratorium (aktual), selanjutnya dibandingkan dalam satuan berat per volume (0,06164 m<sup>3</sup>). Terdapat perbedaan yang tidak jauh dengan kesalahan relatif yang masih dibawah 7% antara berat per volume benda uji aktual dan teoritis.

Tabel 4.8 *Hasil Perbandingan Berat Per Volume Benda Uji Aktual dan Teoritis*

Benda Uji	No.	Berat Rata-Rata (kg)	Volume Benda Uji (m <sup>3</sup> )	Berat/Volume (Aktual) (kg/m <sup>3</sup> )	Berat/Volume (Teoritis) (kg/m <sup>3</sup> )	KR %
Tipe A (Pelat Baut)	1	137,18	0,06164	2225,4	2312,5	3,77%
	2					
	5	133,98	0,06164	2173,5	2312,5	6,01%
	6					

Keterangan:

No 1 dan 2 : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut dengan Beban Horizontal  
 No 5 dan 6 : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat Baut dengan Beban Vertikal Simetris

Perbedaan berat teoritis dan aktual pada benda uji dengan agregat kasar batu bata terjadi karena adanya pengurangan berat seiring dnegan proses penguapan air dari dalam beton hingga mencapai umur 28 hari. Penguapan yang dimaksud terjadi setelah benda uji

tidak lagi ditutup oleh karung goni (proses *curing*), sehingga air dalam benda uji akan terus menguap hingga saat benda uji ditimbang dan diuji.

#### 4.3.3. Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Kuda-Kuda Beton Komposit

Pada pengujian ini terdapat dua tipe pengujian pembebanan, pada pengujian dengan beban vertikal simetris terdapat tiga beban yang bekerja, tetapi hanya dua beban yang berfungsi sebagai beban bertambah yang nilai nya sama hingga tercapai beban maksimum yang mampu ditahan benda uji.

Pada pengujian dengan beban horizontal terdapat dua beban yang bekerja, tetapi hanya satu beban arah horizontal yang berfungsi sebagai beban bertambah hingga mencapai beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji. Penambahan beban dilakukan terus menerus dengan interval 50 kg sampai benda uji tidak mampu lagi mengalami penambahan beban atau dengan kata lain benda uji telah runtuh (*collapse*). Beban maksimum yang mampu ditahan masing-masing tipe benda uji berbeda-beda, berikut tabel hasil pengujian beban maksimum vertikal pada setiap benda uji.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Beban Maksimum Pada Kuda-Kuda Beton

Benda Uji		Beban Maksimum (Kg)	Beban Maksimum Rata-rata (Kg)
Tipe A	1	2500	2500
	2	2500	
	5	550	600
	6	650	

Keterangan:

No 1 dan 2 : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut dengan Beban Horizontal

No 5 dan 6 : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat Baut dengan Beban Vertikal Simetris

Berdasarkan hasil pengujian beban vertikal simetris dan horizontal pada benda uji kuda-kuda beton komposit tulangan bambu, benda uji dengan tipe pembebanan horizontal yaitu Tipe A-1 dan A-2 mencapai beban maksimum yang lebih tinggi.

Dengan dua buah benda uji untuk masing-masing tipe pembebanan, didapatkan hasil pengujian yang variatif. Hasil yang bervariasi ini sangat dipengaruhi banyak faktor, mulai dari pekerjaan persiapan pengecoran, proses pembuatan benda uji, proses penyambungan benda uji dengan menggunakan pelat baut, hingga proses pengujian benda uji itu sendiri. Meski peneliti memberikan perlakuan yang sama terhadap semua benda uji, tetapi hasil yang bervariasi tidak bisa dihindari sepenuhnya. Seperti dalam penelitian kali ini, dapat dilihat hasil penelitian yang jauh berbeda antara masing-masing tipe pembebanan.

#### 4.3.4. Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

Setelah didapat beban maksimum hasil pengujian, selanjutnya dilakukan analisis mengenai hasil tersebut dengan cara membandingkannya dengan beban maksimum teoritis yang sebelumnya telah dihitung. Hasil perbandingan beban maksimum aktual dan teoritis dapat dilihat pada tabel 4.10.

Berdasarkan hasil perbandingan beban maksimum tersebut dapat dilihat bahwa benda uji tipe A-1 dan A-2 serta A-5 dan A-6 tidak mencapai kondisi beban maksimum teoritis saat dilakukan pengujian. Saat benda uji belum mencapai kondisi maksimum teoritis, benda uji telah mengalami keruntuhan terlebih dahulu, dimana keruntuhan yang dialami adalah keruntuhan beton di bagian batang tarik. Hal ini terjadi karena kapasitas tegangan tarik beton terhadap gaya tarik sangat lemah sehingga beton hancur terlebih dahulu, meskipun tulangan bambu beton belum mencapai tegangan tarik maksimum

Tabel 4.10 Hasil Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

Benda Uji	No.	Beban Maksimum		KR %
		Teoritis (kg)	Rata-Rata Aktual (kg)	
Tipe A	1	5440,266	2500	54,05%
	2			
	5	956,534	600	37,21%
	6			

Keterangan:

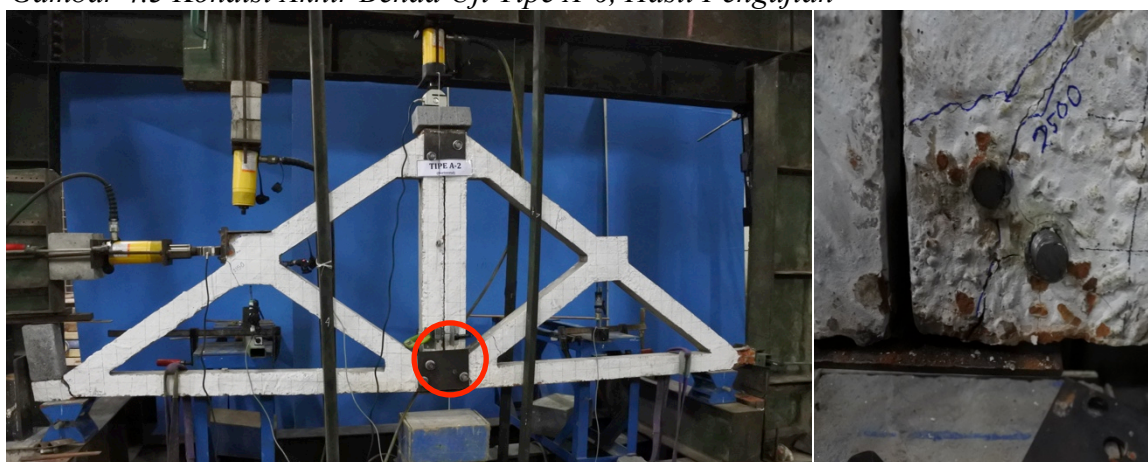
No 1 dan 2 : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut dengan Beban Horizontal  
No 5 dan 6 : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat Baut dengan Beban Vertikal Simetris

Dengan hasil perbandingan tersebut, terjadi selisih yang cukup besar antara beban maksimum teoritis dan aktual pada kedua tipe benda uji. Tipe pengujian horizontal dengan benda uji A-1 dan A-2 memiliki hasil perhitungan kesalahan relatif (KR) hingga mencapai 54,06% sedangkan untuk tipe pengujian vertikal simetris dengan benda uji A-5 dan A-6 memiliki hasil perhitungan KR hingga mencapai 37,21%. Selisih perbedaan hasil aktual dan teoritis pada perhitungan beban maksimum terjadi akibat model keruntuhan yang tidak diprediksi sebelumnya, yaitu pada bagian batang. Keruntuhan pada bagian batang ini terlihat melalui gambar 4.3 dan 4.4 dengan kondisi beton yang sudah hancur sedangkan tulangan bambu masih dalam kondisi belum hancur.





Gambar 4.3 Kondisi Akhir Benda Uji Tipe A-6, Hasil Pengujian



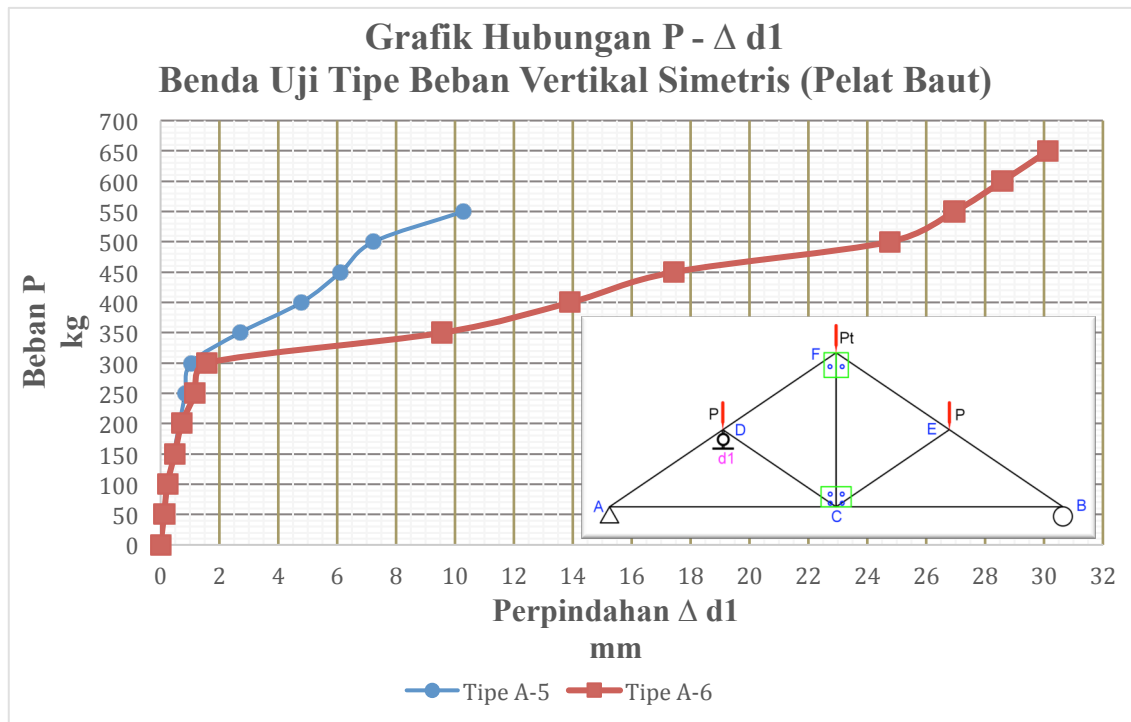
Gambar 4.4 Kondisi Akhir Benda Uji Tipe A-2, Hasil Pengujian

#### 4.3.5. Hubungan Beban dan Deformasi di Titik Tinjau Hasil Pengujian Beban Vertikal Simetris

Salah satu hasil pengujian beban vertikal simetris pada kuda-kuda beton komposit merupakan data hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi pada pengujian. Hasil menunjukkan pada setiap penambahan beban menggunakan pompa hidrolik dengan interval beban setiap 50 kg terdapat perpindahan melalui bacaan LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) dan *dial gauge* pada titik *joint* kuda-kuda. Seperti disebut di atas, LVDT dipasang secara vertikal pada dua titik yaitu titik D dan E, sedangkan *dial gauge* dipasang pada batang tengah atau titik C secara horizontal. Hubungan beban dan perpindahan (deformasi) yang terjadi pada pengujian ditunjukkan dalam bentuk grafik  $P - \Delta$  pada setiap benda uji di titik tinjau.

##### A. Grafik Hubungan $P - \Delta$ di Titik D Vertikal (d1)

Pembebanan vertikal pada benda uji kuda-kuda menyebabkan terjadinya perpindahan titik *joint* ke arah bawah atau searah pembebanan. Hubungan beban  $P$  dan perpindahan  $\Delta$  di titik D vertikal (d1) untuk setiap benda uji ditunjukkan pada gambar 4.5



*Gambar 4.5 Grafik Hubungan P-  $\Delta d1$  Benda Uji Tipe A-5 dan A-6*

Keterangan:

Tipe A-5 dan A-6: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Agregat Limbah Batu Bata dengan pembebanan vertikal simetris

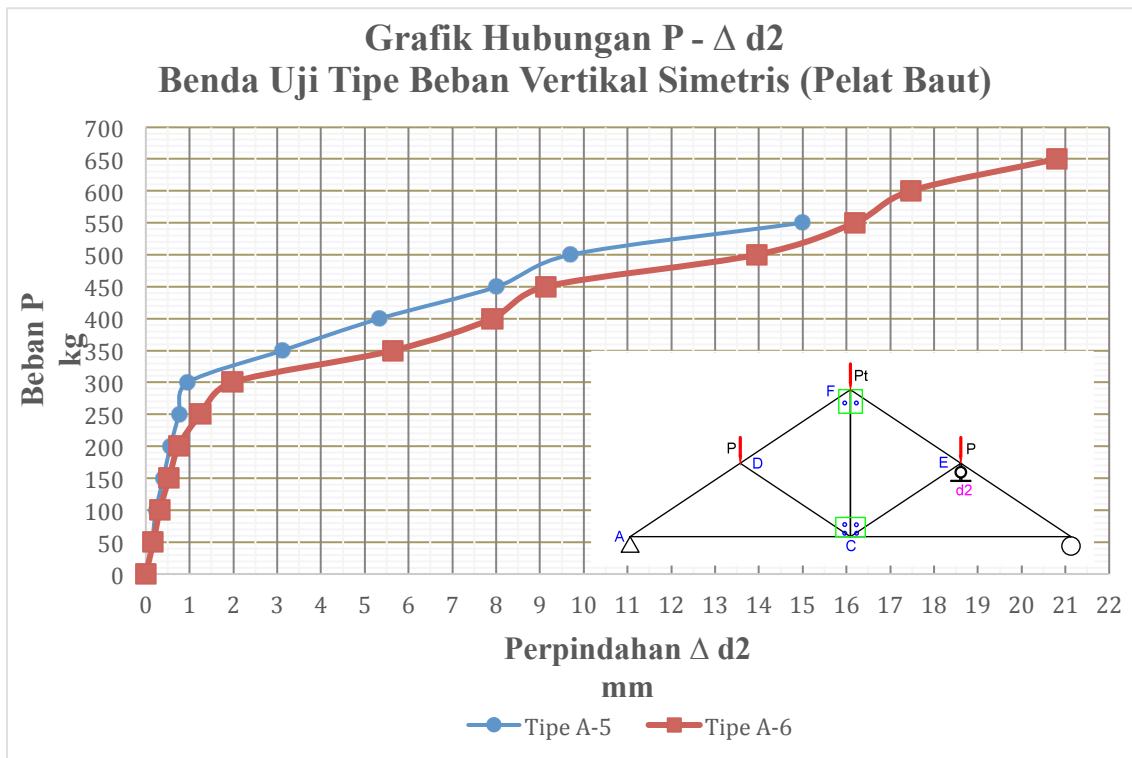
Melalui hubungan P –  $\Delta d1$  pada pengujian beban vertikal ini selain dapat dilihat kondisi batas beban maksimum, juga dapat dilihat kondisi batas elastis benda uji. Batas elastis benda uji ditandai dengan batas garis linier pada grafik. Seperti dapat dilihat, benda uji dengan tipe A-5 dan A-6 mencapai kondisi elastis secara bersamaan pada beban 300 kg. Kondisi beton bertulang sangat bergantung pada kapasitas elastisitas beton yang dipengaruhi oleh berat isi dan mutu beton.

Grafik hasil pengujian di titik D vertikal ini menunjukkan bahwa benda uji dengan tipe A-6 mengalami lendutan maksimum sebesar 32,86 mm. Sedangkan benda uji tipe A-5 mengalami lendutan maksimum sebesar 10,28 mm. Deformasi maksimum yang dialami A-5 lebih kecil dibandingkan dengan A-6 dikarenakan beban maksimum yang dapat ditahan lebih kecil yaitu 550 kg. Sedangkan benda uji A-6 mampu menahan beban maksimum sebesar 650 kg.



### B. Grafik Hubungan $P - \Delta$ di Titik E Vertikal (d2)

Deformasi yang terjadi juga di tinjau di titik E juga searah gaya beban atau arah vertikal. Hubungan beban  $P$  dan perpindahan  $\Delta$  di titik E akan ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan  $P - \Delta$  d2 Benda Uji Tipe A-5 dan A-6

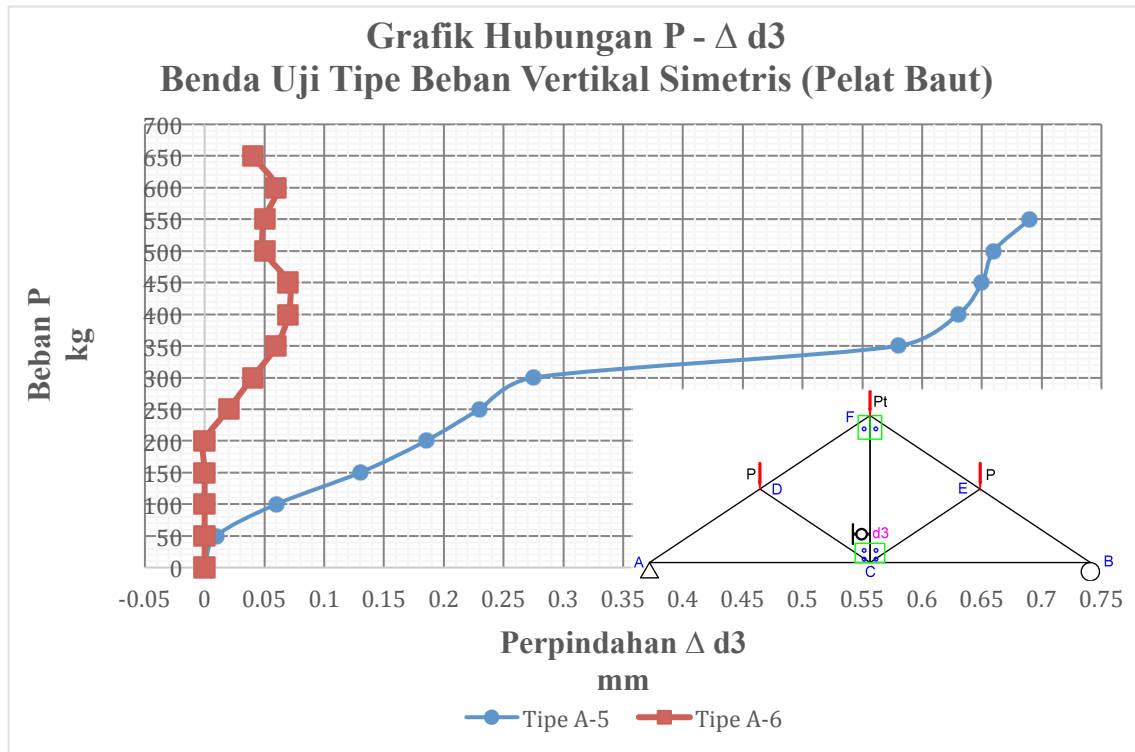
Keterangan:

Tipe A-5 dan A-6: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Agregat Limbah Batu Bata dengan pembebanan vertikal simetris

Bentuk grafik  $P - \Delta$  d2 pada benda uji A-5 dan A-6 mengalami perpindahan atau deformasi yang semakin besar seiring dengan kondisi benda uji yang mendekati keruntuhan. Dalam grafik tersebut juga dapat dilihat kondisi batas elastis benda uji yaitu batas garis linier pada grafik pada beban 300 kg.

### C. Grafik Hubungan $P - \Delta$ di Titik C Horizontal (d3)

Selain pembacaan perpindahan secara vertikal, dilakukan juga pembacaan perpindahan secara horizontal di titik C atau batang tengah, untuk mengetahui pengaruh pembebanan terhadap kekuatan sambungan pelat baut. *Dial Gauge* dipasang secara horizontal untuk mengetahui apakah terjadi perenggangan di dalam sambungan pelat baut yang sudah terpasang. Hasil perpindahan di titik C arah horizontal (d3) ditunjukkan pada Gambar 4.7.



*Gambar 4.7 Grafik Hubungan P-  $\Delta d3$  Benda Uji Tipe A-5 dan A-6*

Keterangan:

Tipe A-5 dan A-6: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Agregat Limbah Batu Bata dengan pembebanan vertikal simetris

Bentuk grafik hubungan P -  $\Delta d3$  pada benda uji A-6 mengalami perengangan dan kemudian merapat kembali. Hal ini dapat terjadi dikarenakan tidak adanya rongga antara kuda-kuda kanan dan kiri saat disambung dengan menggunakan pelat baut yang menyebabkan bagian atas batang 5 (titik F) memaksa batang tersebut untuk merapat kembali setelah meregang. Tetapi hal tersebut tidak terjadi pada benda uji dengan tipe A-5 karena benda uji tersebut memiliki rongga sehingga saat diberi beban batang lima atau titik C dapat merenggang secara lebih leluasa tanpa terjadinya perapatan kembali.

Dilihat dari jarak perpindahan, dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan sambungan pelat baut dapat menambah kekakuan kuda-kuda sehingga mengalami deformasi yang sangat kecil.

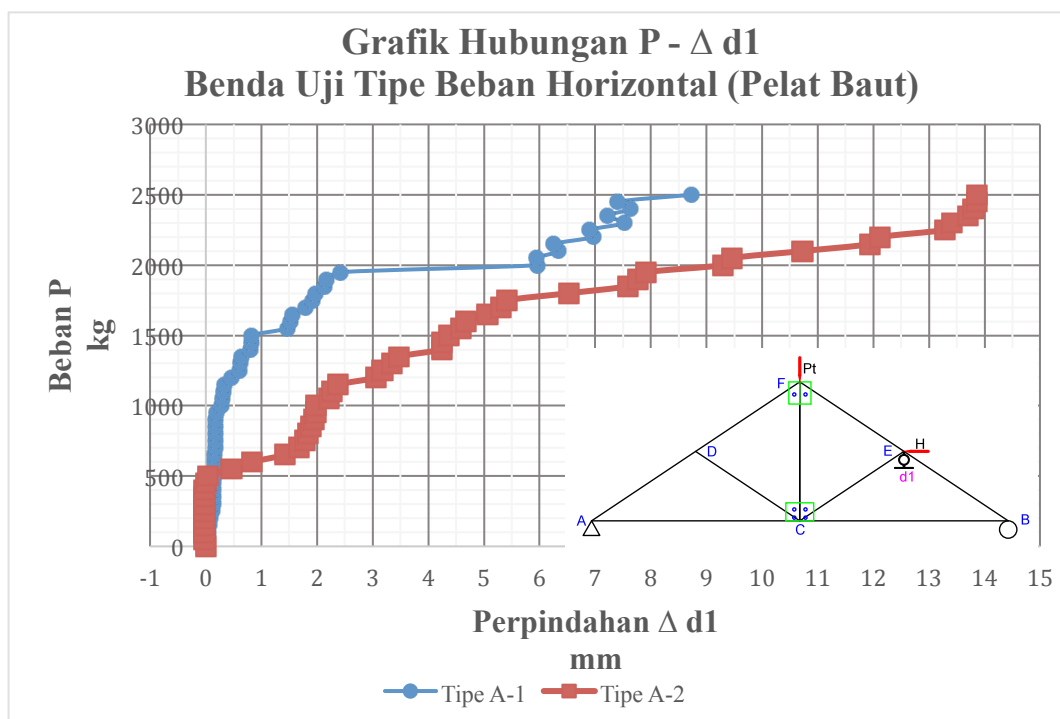
#### **4.3.6. Hubungan Beban dan Deformasi di Titik Tinjau Hasil Pengujian Beban Horizontal**

Sama dengan pengujian beban vertikal, pada pengujian dengan beban horizontal pun menghasilkan data hubungan antara beban dan deformasi yang terjadi selama pengujian. Hasil menunjukkan pada setiap penambahan beban menggunakan pompa hidrolik dengan interval beban setiap 50kg terdapat perpindahan melalui bacaan LVDT (*Linear Variable*

*Differential Transformer*) dan *dial gauge* pada titik tinjauan kuda-kuda. seperti yang telah disebutkan di atas, LVDT dipasang secara vertikal dan horizontal pada titik E (d1 dan d2), serta secara vertikal pada titik D (d3), sedangkan *dial gauge* dipasang secara horizontal pada batang tengah atau titik C (d4). Hubungan beban dan deformasi yang terjadi pada pengujian ditunjukkan dalam bentuk grafik  $P - \Delta$  pada setiap benda uji di titik tinjau.

#### A. Grafik Hubungan $P - \Delta$ di Titik E Vertikal (d1)

LVDT dipasang secara vertikal di titik E untuk mengetahui perpindahan yang terjadi di titik E arah vertikal dalam pengaruh beban horizontal. Hubungan beban  $P$  dan perpindahan  $\Delta$  di titik E akan ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan  $P - \Delta$  d1 Benda Uji Tipe A-1 dan A-2

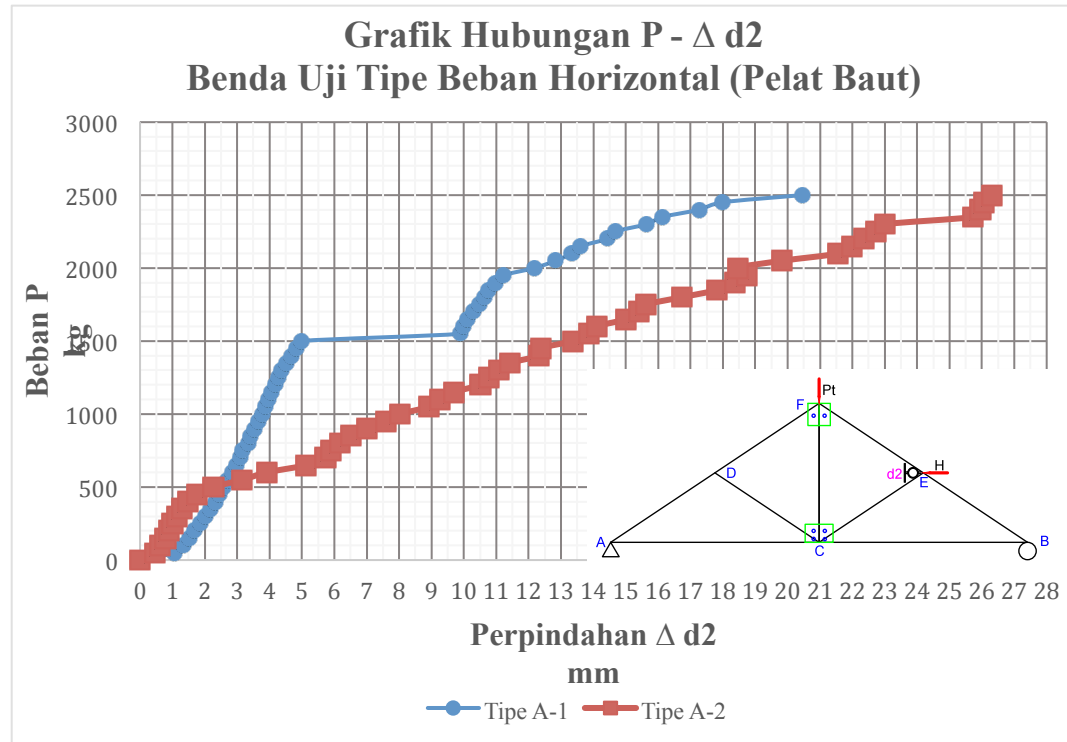
Keterangan:

Tipe A-1 dan A-2: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Agregat Limbah Batu Bata dengan pembebanan horizontal

Dari grafik di atas dapat dilihat dari pembacaan LVDT terjadi grafik yang menunjukkan angka negatif menjadi positif, hal ini disebabkan oleh rangka kuda-kuda yang awalnya tertekan akibat beban tetap vertikal di titik F, lalu diikuti dengan beban bergerak horizontal yang menyebabkan titik E mengalami pengangkatan bukan penurunan. Hal ini disebabkan oleh terdorong nya benda uji searah dengan arah beban, dan tertahan oleh *frame* uji yang menyebabkan benda uji menjadi terangkat.

### B. Grafik Hubungan $P - \Delta$ di Titik E Horizontal (d2)

Selain secara vertikal, LVDT juga dipasang secara horizontal untuk mengetahui besarnya deformasi yang terjadi searah arah beban. Hubungan beban  $P$  dan perpindahan  $\Delta$  dititik E secara horizontal akan ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut



Gambar 4.9 Grafik Hubungan  $P - \Delta$  d2 Benda Uji Tipe A-1 dan A-2

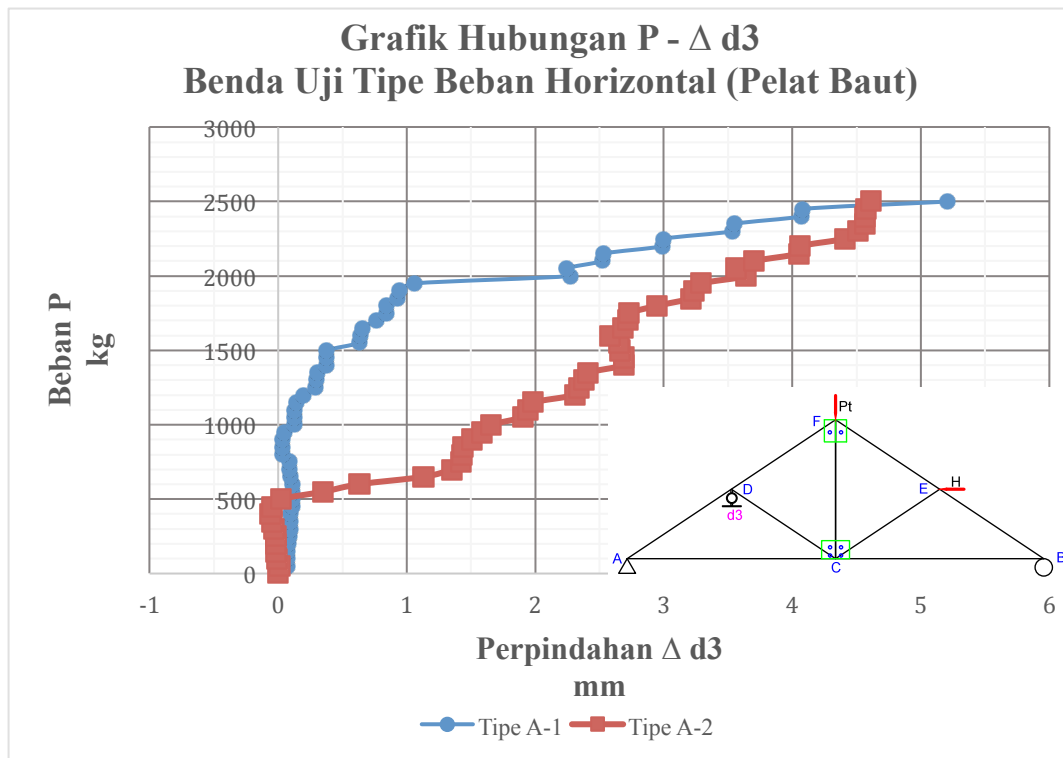
Keterangan:

Tipe A-1 dan A-2: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Agregat Limbah Batu Bata dengan pembebanan horizontal

Berbeda dengan grafik sebelum nya, pada grafik ini terlihat bahwa benda uji terdorong searah dengan arah beban tanpa ada nya perlawanan. Bahkan pada benda uji dengan Tipe A-1, dapat dilihat batas elastis benda uji yang ditandai dengan garis linier di beban 1500 kg.

### C. Grafik Hubungan $P - \Delta$ di Titik D Vertikal (d3)

Selain dipasang pada titik E, perpindahan yang terjadi juga di tinjau di titik D searah vertikal. Hubungan beban  $P$  dan perpindahan  $\Delta$  dititik D secara vertikal akan ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan P-  $\Delta$ d3 Benda Uji Tipe A-1 dan A-2

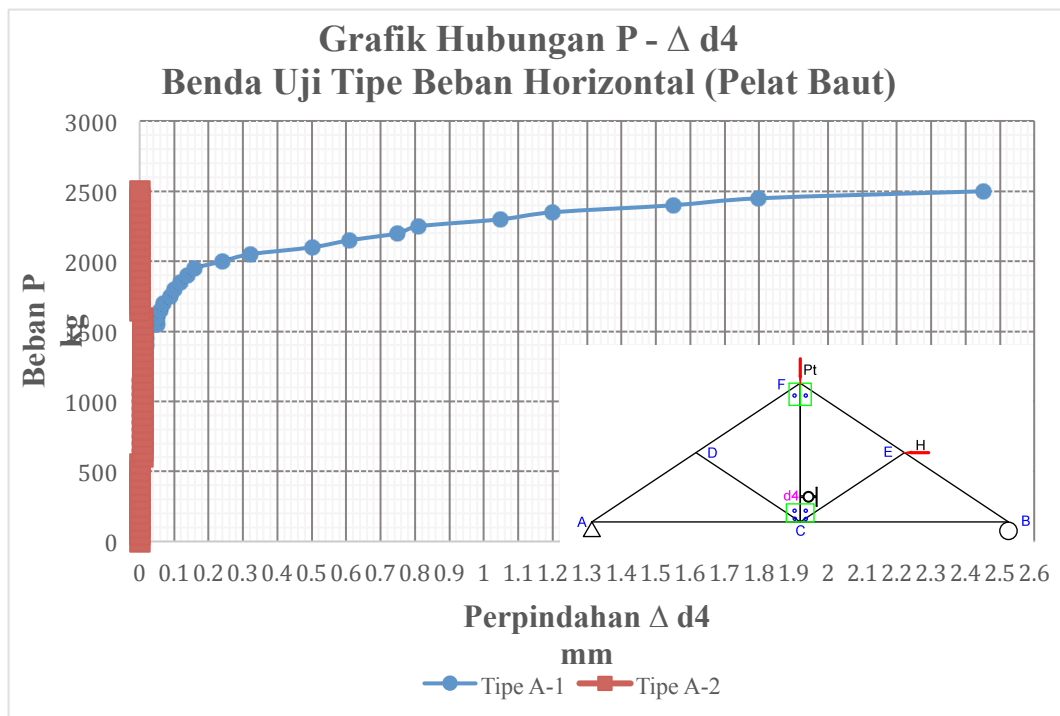
Keterangan:

Tipe A-1 dan A-2: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Agregat Limbah Batu Bata dengan pembebanan horizontal

Dalam grafik bisa dilihat penurunan yang berubah tanda dari minus menjadi positif, yang menunjukkan hal yang sama seperti penurunan pada  $\Delta$ d1 (Gambar 4.8) yaitu yang sebelumnya tertekan menjadi terangkat diakibatkan oleh beban vertikal tetap di titik F sebesar 100 kg, serta beban bertambah dengan interval 50 kg di titik E secara horizontal.

#### D. Grafik Hubungan P - $\Delta$ di Titik C Horizontal (d4)

Untuk mengetahui perpindahan yang terjadi di titik C maka digunakan *dial gauge* yang akan menunjukkan pengaruh sambungan pelat baut terhadap beban horizontal yang diberikan. Hubungan beban P dan perpindahan  $\Delta$  di titik C secara horizontal akan ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 Grafik Hubungan P-  $\Delta d4$  Benda Uji Tipe A-1 dan A-2

Keterangan:

Tipe A-1 dan A-2: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Agregat Limbah Batu Bata dengan pembebanan horizontal

Pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.11, terlihat deformasi yang terjadi pada benda uji tipe A-2 sangat kecil yaitu sebesar 0.01 mm bahkan kembali lagi menjadi nol. Sedangkan pada benda uji dengan tipe A-1 lebih terlihat deformasi yang terjadi. Meskipun kedua benda uji diberikan perlakuan yang sama, tidak menghindari adanya hasil yang bervariasi. Namun, hal ini menunjukkan bahwa sambungan pelat baut dapat menahan beban secara horizontal dengan cukup baik dan dapat menahan beban hingga 2500 kg.

#### 4.3.7. Deformasi Aktual yang Terjadi Pada Kuda-Kuda Beton Komposit

Dari pengujian beban vertikal simetris dan beban horizontal pada benda uji kuda-kuda beton komposit diperoleh besarnya deformasi yang terjadi di titik C, D, dan E. Hasil perpindahan maksimum  $d1$ ,  $d2$ , dan  $d3$  saat pengujian beban vertikal simetris dapat dilihat pada tabel 4.11, sedangkan hasil perpindahan maksimum  $d1$ ,  $d2$ ,  $d3$ , dan  $d4$  saat pengujian beban horizontal dapat dilihat pada tabel 4.12.

Perpindahan maksimum dan elastis pada pengujian ini menjadi fokus dikarenakan dalam penerapan sehari-hari elastisitas beton menjadi faktor untuk menentukan batas aman dan batas layan kerja struktur yang digunakan. Batas elastis benda uji saat pengujian dapat dilihat melalui grafik hubungan beban dan perpindahan ( $P - \Delta$ ) yang diambil dalam kondisi beban  $P$  elastis sama agar deformasi elastis aktual setiap benda uji dapat dibandingkan. Adapun syarat penentuan  $P$  elastis benda uji berdasarkan grafik hubungan beban dan perpindahan ( $P - \Delta$ ) adalah saat beban  $P$  terendah dari kedua tipe benda uji dengan model pembebanan yang sama dimana terjadinya pergeseran garis linier pertama dan saat retak pertama terjadi. Data deformasi saat benda uji mencapai beban elastis dapat dilihat dalam tabel 4.13, 4.14 dan 4.15 berikut.

Tabel 4.11 Hasil Perpindahan Maksimum Pengujian Beban Vertikal Simetris

Benda Uji	No. Benda Uji	P Maks (kg)	$\Delta$ Maks (mm)			Rata-rata $\Delta$ Maks (mm)		
			d1	d2	d3	d1	d2	d3
Vertikal Simetris	5	550	10.28	15	0.69	20.20	17.90	0.36
	6	650	30.13	20.81	0.04			

Tabel 4.12 Hasil Perpindahan Maksimum Pengujian Beban Horizontal

Benda Uji	No. Benda Uji	P Maks (kg)	$\Delta$ Maks (mm)				Rata-rata $\Delta$ Maks (mm)			
			d1	d2	d3	d4	d1	d2	d3	d4
Horizontal	1	2500	8.72	20.46	5.21	2.45	11.29	23.38	4.91	1.23
	2	2500	13.87	26.3	4.61	0.01				

Tabel 4.13 Penentuan nilai  $P$  Elastis Tinjauan

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis (kg)	P Elastis Rata-Rata (kg)	P Retak Pertama (kg)	P Elastis Tinjauan (kg)
Horizontal	1	1500	500	1700	500
	2	500		1200	
Vertikal Simetris	5	300	300	350	300
	6	300		350	

Tabel 4.14 Perpindahan Saat Beban  $P$  Elastis Pengujian Beban Vertikal Simetris

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	$\Delta$ Elastis (mm)			Rata-rata $\Delta$ Elastis (mm)		
			d1	d2	d3	d1	d2	d3
Vertikal Simetris	5	300	1.04	0.96	0.275	1.3	1.46	0.158
	6		1.56	1.97	0.04			

Tabel 4.15 *Perpindahan Saat Beban P Elastis Pengujian Beban Horizontal*

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	$\Delta$ Elastis (mm)				Rata-rata $\Delta$ Elastis (mm)			
			d1	d2	d3	d4	d1	d2	d3	d4
Horizontal	1	500	0.15	2.59	0.11	0	0.1	2.43	0.065	0
	2		0.05	2.26	0.02	0				

#### 4.3.8. Perbandingan Deformasi Aktual dan Teoritis

Nilai perpindahan aktual saat batas beban elastis pada pengujian kemudian dianalisis dengan membandingkan nilainya terhadap hasil perhitungan teoritis. Nilai deformasi teoritis dihitung dengan metode *unit load*. Faktor-faktor yang mempengaruhi deformasi teoritis dengan metode ini, antara lain kuat tekan beton ( $f'_c$ ), berat isi beton ( $W_c$ ), elastisitas beton ( $E_c$ ), luas penampang benda uji ( $A$ ), dan beban  $P$  elastis. Semua faktor tersebut telah diperoleh melalui hasil pengujian dan analisis sebelumnya. Hasil perbandingan deformasi aktual dan teoritis untuk tipe pembebanan vertikal simetris dapat dilihat pada tabel 4.16 sampai dengan tabel 4.18, dan untuk tipe pembebanan horizontal dapat dilihat pada tabel 4.19 sampai dengan tabel 4.22.

Tabel 4.16 *Hasil Perbandingan Deformasi  $\Delta d1$  Elastis Pengujian dan Teoritis Beban Vertikal Simetris*

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d1$ Elastis	
			Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	5	300	0.3356	1.3
	6			

Tabel 4.17 *Hasil Perbandingan Deformasi  $\Delta d2$  Elastis Pengujian dan Teoritis Beban Vertikal Simetris*

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d2$ Elastis	
			Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	5	300	0.3356	1.4650
	6			

Tabel 4.18 *Hasil Perbandingan Deformasi  $\Delta d3$  Elastis Pengujian dan Teoritis Beban Vertikal Simetris*

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d3$ Elastis	
			Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Vertikal Simetris	5	300	0.1065	0.1575
	6			

Keterangan:

Tipe A-5 dan A-6: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Agregat Limbah Batu Bata dengan pembebanan vertikal simetris



Hasil perbandingan deformasi aktual dan teoritis untuk tipe pembebanan horizontal dapat dilihat pada tabel 4.19 sampai dengan tabel 4.22.

Tabel 4.19 Hasil Perbandingan Deformasi  $\Delta d1$  Elastis Pengujian dan Teoritis Beban Horizontal

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d1$ Elastis	
			Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Horizontal	1	500	0.0240	0.1
	2			

Tabel 4.20 Hasil Perbandingan Deformasi  $\Delta d2$  Elastis Pengujian dan Teoritis Beban Horizontal

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d2$ Elastis	
			Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Horizontal	1	500	0.0793	2.425
	2			

Tabel 4.21 Hasil Perbandingan Deformasi  $\Delta d3$  Elastis Pengujian dan Teoritis Beban Horizontal

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d3$ Elastis	
			Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Horizontal	1	500	0.0240	0.0650
	2			

Tabel 4.22 Hasil Perbandingan Deformasi  $\Delta d4$  Elastis Pengujian dan Teoritis Beban Horizontal

Benda Uji	No. Benda Uji	P Elastis Tinjauan (kg)	Deformasi $\Delta d4$ Elastis	
			Teoritis (mm)	Rata-Rata Aktual (mm)
Horizontal	1	500	0.0016	0
	2			

Keterangan:

Tipe A-1 dan A-2: Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Agregat Limbah Batu Bata dengan pembebanan horizontal

Perbandingan antara deformasi teoritis dan aktual menunjukkan perbedaan antara keduanya yang sangat jauh untuk setiap titik tinjau di tiap tiap jenis pembebanan. Perbedaan nilai deformasi tersebut dapat disebabkan oleh banyak faktor sewaktu pengujian yang tidak dapat diperhitungan secara teoritis dengan metode *unit load*. Faktor-faktor

tersebut antara lain ialah perubahan bentuk kuda-kuda dan besaran atau lebar retakan yang terjadi saat pengujian yang dapat melemahkan beton, dan tulangan bambu dalam kondisi yang lebih kuat. Selain faktor tersebut, rumus modulus elastisitas yang digunakan dalam perhitungan teoritis menggunakan rumus untuk beton normal, sedangkan pada penelitian ini beton yang diuji merupakan beton ringan, sehingga perlu dilakukan pengujian pada silinder beton untuk mengetahui tingkat elastisitas aktual dari benda uji dengan bacaan ekstensometer.

#### 4.4. Pembahasan

##### 4.4.1. Pengaruh Penggunaan Sambungan Pelat Baut pada Kuda-kuda Beton Komposit terhadap Beban Maksimum

Dalam penelitian ini, pembebanan dibedakan menjadi 2 jenis yaitu secara vertikal simetris dan horizontal. Beban maksimum yang mampu dicapai serta beban pada retak pertama yang terjadi pada benda uji kuda-kuda tulangan bambu beton komposit masing-masing tipe dapat dilihat pada tabel 4.23 sampai dengan 4.24 dan gambar 4.12 dan 4.13 berikut.

Tabel 4.23 *Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Oleh Kedua Tipe Pembebanan*

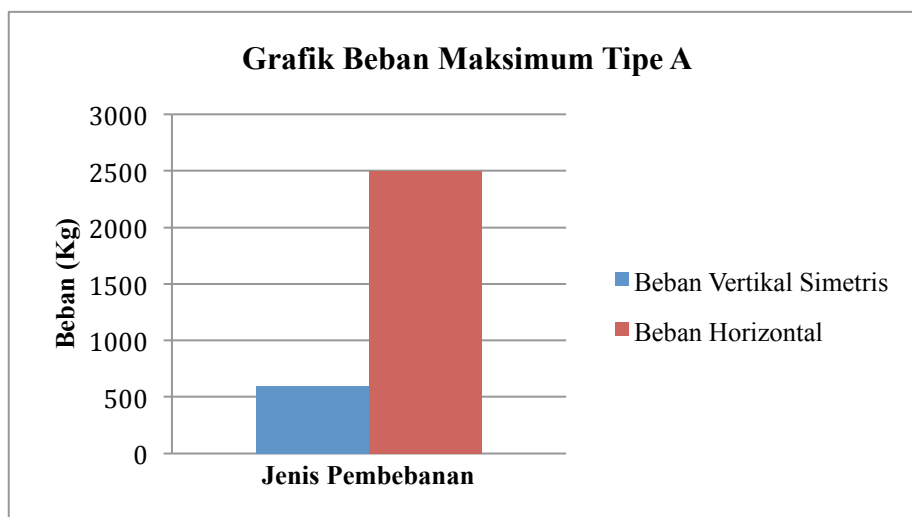
Benda Uji		Beban Maksimum (Kg)	Beban Maksimum Rata-rata (Kg)
Tipe A	1	2500	2500
	2	2500	
	5	550	600
	6	650	

Tabel 4.24 *Beban Pada Retak Pertama yang Terjadi Pada Kedua Tipe Pembebanan*

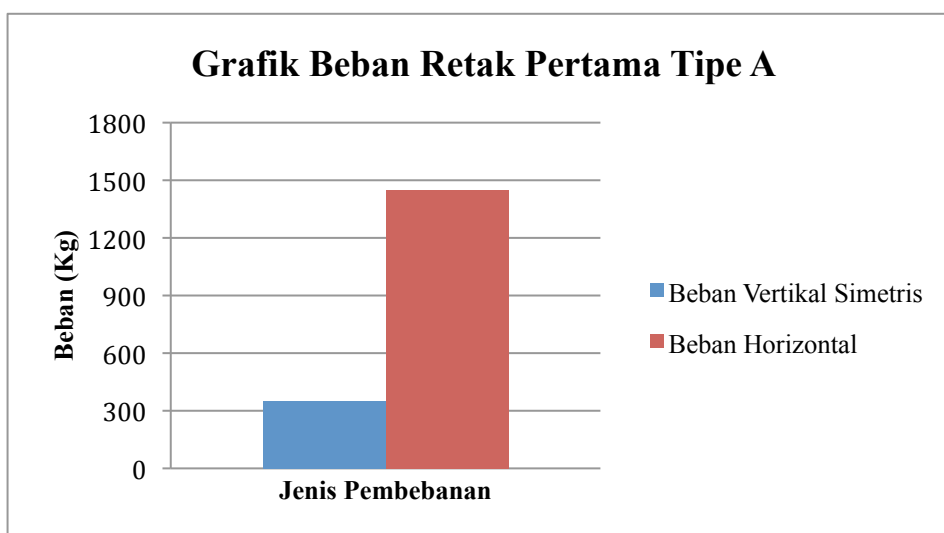
Benda Uji		Beban Retak Pertama (Kg)	Beban Retak Pertama Rata-rata (Kg)
Tipe A	1	1700	1450
	2	1200	
	5	350	350
	6	350	

Keterangan:

No 1 dan 2 : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat-Baut dengan Beban Horizontal  
No 5 dan 6 : Kuda-kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Sambungan Pelat Baut dengan Beban Vertikal Simetris



Gambar 4.12 *Beban Maksimum yang Mampu Ditahan Oleh Kedua Tipe Pembebanan*



Gambar 4.13 *Beban pada Retak Pertama yang Terjadi pada Kedua Tipe Pembebanan*

Dalam Tabel tersebut dapat dilihat perbedaan yang cukup jauh antara beban maksimum yang mampu ditahan oleh kedua jenis pembebanan. Benda uji dengan tipe pembebanan horizontal dapat menahan beban maksimum hingga 2500 kg, sedangkan untuk tipe pembebanan vertikal mampu menahan hanya 600 kg. Hal ini juga disebabkan oleh saat pembebanan secara vertikal simetris diberikan, beton dibagian batang tarik tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga runtuh terlebih dahulu dibandingkan tulangan bambu dan sambungan nya. Berbeda dengan pembebanan secara horizontal yang membuat batang menjadi batang tekan sehingga beton lebih mampu menahan gaya tekan dari beban horizontal tersebut.

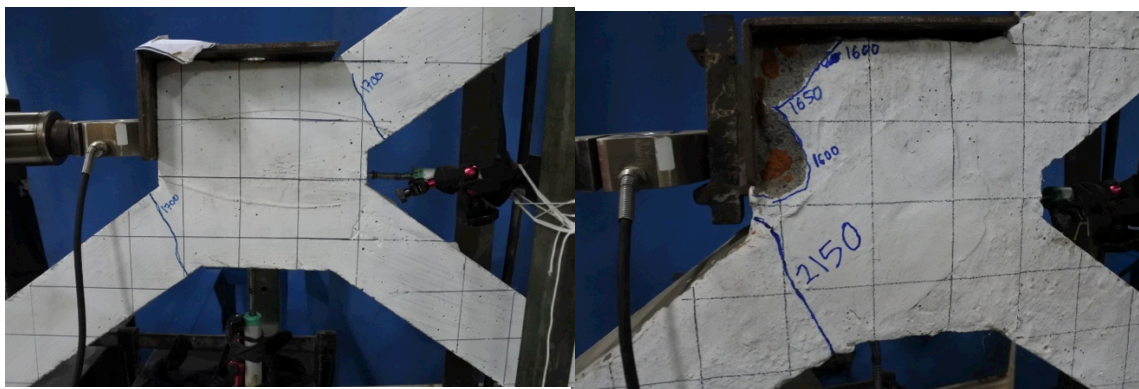
#### 4.4.2. Pola Retak yang Terjadi Pada Kuda-Kuda Beton Komposit dengan Sambungan Pelat Baut

Model keruntuhan suatu struktur dapat dilihat dari pola retak yang terjadi. Semua benda uji yang telah diuji dengan masing-masing tipe pembebanan memiliki pola retak yang hampir sama, yaitu retakan yang berbentuk tegak lurus terhadap sumbu batang. Hal ini disebabkan oleh beton yang tidak mampu menahan elastisitas tulangan bambu, dan menyebabkan beton mengalami retakan. Kemudian disusul oleh keruntuhan struktur secara menyeluruh.

Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa terdapat retakan pada daerah batang tarik di kedua segmen kuda-kuda Tipe A-5 dan A-6 dengan tipe pembebanan vertikal simetris. Sedangkan untuk kuda-kuda Tipe A-1 dan A-2 retakan terjadi di batang yang menerima langsung beban horizontal, bahkan terjadi retakan juga di bagian sambungan pelat baut antar segmen untuk tipe A-2. Gambar pola retak yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.14 sampai dengan 4.16.



Gambar 4.14 Retakan yang Terjadi Pada Batang Tarik Benda Uji A-5 dan A-6 Dengan Beban Vertikal Simetris



Gambar 4.15 Retakan yang Terjadi Pada Batang yang Menerima Beban Horizontal Secara Langsung pada Benda Uji A-1 dan A-2 Dengan Beban Horizontal



Gambar 4.16 Retakan yang Terjadi di Dalam Sambungan Pelat Baut pada Benda Uji A-1 dan A-2 Dengan Beban Horizontal

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian variasi pembebanan pada kuda-kuda beton komposit dengan agregat batu bata bertulangan bambu dengan sambungan pelat baut, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk pengujian dengan beban vertikal simetris, keruntuhan terjadi pada beban bertambah dengan rata-rata sebesar 600 kg untuk satu titik pembebanan atau 1200 kg untuk kedua titik pembebanan secara simetris. Benda uji tersebut mencapai batas elastis pada beban 300 kg untuk satu titik pembebanan. Melihat hasil ini, apabila dibandingkan dengan kekuatan kuda-kuda beton komposit tulangan bambu tanpa sambungan pada penelitian oleh Insani, M.H (2016) mampu menahan beban hingga mencapai rata-rata 3000 kg untuk satu titik pembebanan, hal ini disebabkan oleh jarak tumpuan antar benda uji yang berbeda sehingga menghasilkan kekuatan benda uji dalam menahan beban maksimum yang berbeda pula. Bila dibandingkan dengan penelitian oleh Wonlele, Tedy (2013) kuda-kuda beton dapat menahan hingga 6136 kg, hal ini disebabkan oleh penggunaan agregat kasar kerikil meskipun menggunakan tulangan bambu, dan jarak antar tumpuan yang berbeda.
2. Untuk pengujian dengan beban horizontal keruntuhan terjadi pada beban bertambah dengan rata-rata sebesar 2500 kg. Benda uji tersebut mencapai batas elastis pada beban 500 kg. Beban maksimum yang mampu ditahan secara aktual dan teoritis memiliki perbedaan cukup jauh mencapai 54% dengan beban maksimum teoritis 5440,266 kg, hal ini menunjukkan bahwa banyak hal yang tidak dapat diperhitungkan pada perhitungan teoritis yang sebenarnya terjadi di keadaan aktual.
3. Dengan variasi pembebanan vertikal simetris dan horizontal, dapat dilihat bahwa keretakan yang terjadi pada titik yang berbeda-beda tetapi secara umum berada di batang tarik. Untuk beban vertikal simetris, keruntuhan yang terjadi menunjukkan kelemahan beton dalam menahan gaya tarik, sehingga beton lebih dahulu hancur dibandingkan dengan tulangan bambu nya, sedangkan untuk di sekitar dan di dalam sambungan pelat baut belum terjadi keretakan. Apabila dibandingkan dengan kuda-kuda tanpa sambungan pada penelitian sebelumnya oleh Paramita, R.P (2016), maka

pola retak yang terjadi berada dibatang yang sama yaitu batang tarik. Untuk pembebanan horizontal, diketahui retakan terjadi di bagian batang tarik yang menahan beban horizontal secara langsung, dan juga terdapat keretakan di bagian dalam sambungan pelat baut.

## 5.2. Saran

Berikut ini merupakan beberapa saran terkait penelitian pengaruh sambungan pelat baut terhadap kekuatan kuda-kuda beton tulangan bambu :

1. Penelitian ini bisa dijadikan referensi, untuk selanjutnya lebih diperhatikan bagian kekuatan beton, dikarenakan sambungan yang telah terpasang lebih kuat dibandingkan dengan struktur kuda-kuda beton tulangan bambu.
2. Dapat dilakukan analisis yang lebih rinci sesuai dengan keadaan aktualnya sehingga akan didapatkan hasil yang semakin mendekati hasil aktual.
3. Untuk mengetahui nilai elastisitas beton secara aktual perlu dilakukan pengujian pada silinder beton dengan agregat selain batu kerikil (beton normal) dengan menggunakan alat ekstensometer atau *strain gauge*. Melalui alat ini akan didapatkan nilai regangan sehingga modulus elastisitas dapat dihitung karena, karena berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa rumus modulus elastisitas beton normal kurang tepat untuk digunakan dalam mencari nilai modulus elastisitas beton ringan.
4. Diperlukan perakitan tulangan bambu dan pemasangan pipa untuk baut secara bersamaan agar didapatkan hasil penempatan baut yang sesuai dengan yang telah direncanakan.
5. Berdasarkan hasil penelitian, limbah batu bata dapat digunakan untuk menggantikan batu kerikil dalam campuran beton, tetapi perlu diperhatikan bahwa tingkat absorpsi batu bata sangat tinggi, sehingga perlu dilakukan penelitian terhadap daya serap batu bata terhadap air agar mendapatkan nilai penyerapan yang tepat.
6. Benda uji beton dengan agregat kasar limbah batu bata memerlukan waktu lebih lama untuk menurunkan kadar air dalam benda uji.
7. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk selanjutnya dengan membuat kuda-kuda beton komposit tulangan bambu dengan penggunaan sambungan antar segmen yang lebih efektif.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Affandi M. (2004) . *Perbedaan sistem konvensional dengan sistem pracetak*
- ASTM Standards. (2004). *ASTM C 150 150 – 04 Standards Specification For Portland Cement*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Dewi, S. M. (2008). *Mekanika Struktur Komposit*. Malang: Bergie Media.
- Dewi, S. M., et.al (2017). *Bambu Konstruksi untuk Rakyat*. Malang: UB Press
- Ervianto, Wulfram I (2006). *Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi Beton Pracetak dan Bekisting*. Yogyakarta : Penerbit ANDI
- Hibbeler, R. C. (2002). *Analisis Struktur*. Diterjemahkan Oleh: Yaziz Hasan dan Masdin. Jakarta: PT. Prenhallino.
- Honing, J. (1977). *Konstruksi Beton*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Indarwanto, Muji. *Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB*
- Insani, M.H. (2016). *Pengaruh Variasi Agregat Terhadap Kekuatan dan Berat Kuda-kuda Beton Komposit Tulang Bambu*. Jurnal rekayasa sipil/Volume 1-no.3. Malang : Universitas Brawijaya
- Jansen, J. J. A. (1991). *Mechanical Properties of Bamboo*. Kluwer Academic Publisher
- Kasegic, I., Netinger, I., & Bjegovic, D. (2008) . *Recycled Clay Brick As an Aggregate For Concrete*. *Technical Gazette* 15(2008)3, 35-40.
- Morisco(1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Nawy, Edward G. (1998). *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*.
- Nurjannah, S.A (2011). *Perkembangan Sistem Struktur Beton Pracetak sebagai Alternatif pada Teknologi Konstruksi Indonesia yang Mendukung Efisiensi Energi Serta Ramah Lingkungan*. Jurnal. Palembang : Universitas Sriwijaya
- Indonesia, P. B. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Paramita, R.P (2016). *Pengaruh Penambahan Serat Bambu terhadap Kuda-Kuda Beton Komposit Tulangan Bambu Agregat Batu Bata*. Jurnal rekayasa sipil/Volume 1-no.3. Malang : Universitas Brawijaya
- Schodek, D.L. (1995). *Struktur*. Diterjemahkan Oleh: Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc. Bandung: PT. Eresco.
- Setiawan, Agus, (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Semarang.

- SNI-03-1729-2002 (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-03-2461-2002 (2002). *Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-03-2834-2000 (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-03-2847-2002 (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-03-6891-2002 (2002). *Spesifikasi Bahan Graut Untuk Pekerjaan Pasangan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-15-2094-2004. (2004). *Semen Portland*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Suseno, H. (2010). *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bergie Media.
- Ummiati, S. (2009). *Pengembangan Model Struktur Beton Bertulangan Bambu Tahan Gempa Sistem Ganda Untuk Pembangunan Rumah Sederhana Tahan Gempa Pada Wilayah Gempa Tertinggi di Indonesia*. Tesis. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya
- Winter, G., dan Nilson, A. (1993). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wonlele, Tedy, Sri Murni Dewi, dan Siti Nurlina (2013). *Penerapan Bambu Sebagai Tulangan Dalam Struktur Rangka Batang Beton Bertulang*. Jurnal rekayasa sipil/Volume 7-no.1
- Wonlele, Tedy, Sri Murni Dewi (2011). *Roof Frame from Bamboo Concrete Composite*. Jurnal of Material Science and Engineering/Volume 1-no.1

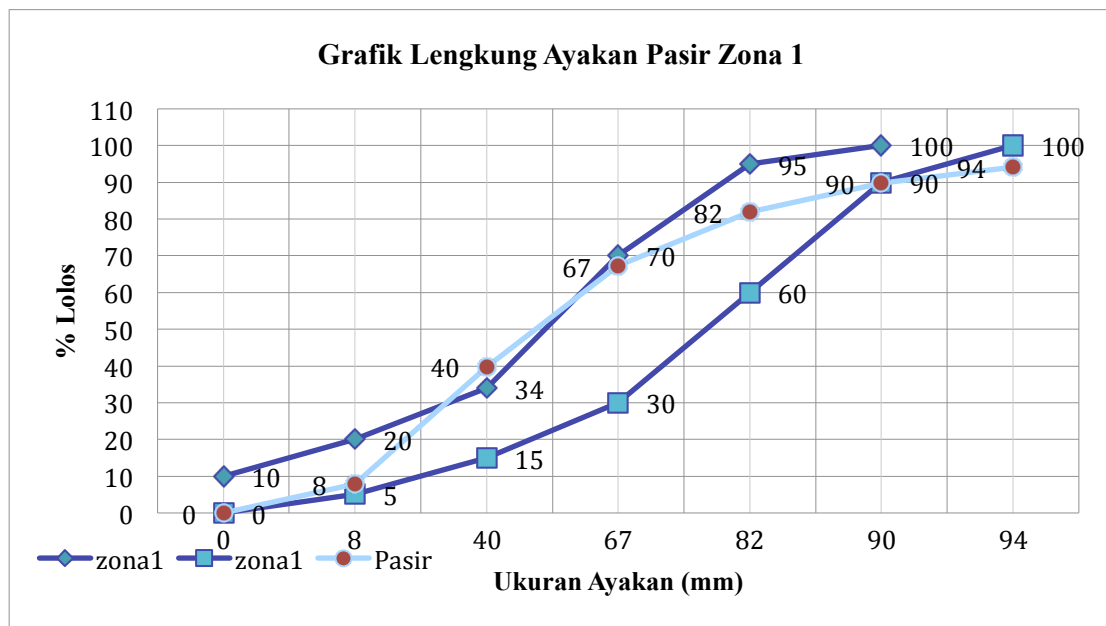
## LAMPIRAN

### 1. Data Hasil Analisis Agregat Halus

#### a. Analisis Gradasi

Lubang Saringan		Pasir			
no	mm	Tertinggal	%	%Kumulatif	
		gram		Tertinggal	Lolos
3"	76.2	-	-	-	-
2.5"	63.5	-	-	-	-
2"	50.8	-	-	-	-
1.5"	38.1	-	-	-	-
1"	25.4	-	-	-	-
3/4"	19.1	-	-	-	-
1/2"	12.7	-	-	-	-
3/8"	9.5	-	-	-	100
4	4.76	56.86	5.793	5.793	94.207
8	2.38	43.48	4.430	10.224	89.776
16	1.19	77.42	7.888	18.112	81.888
20	0.59	143.91	14.663	32.775	67.225
50	0.297	269.31	27.440	60.215	39.785
100	0.149	312.96	31.888	92.103	7.897
200	0.075	77.51	7.897	100.000	0.000
Pan		11.27	-	-	-
Σ =		981.45	100	319.222	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus halus pasir} &= \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/8" \text{ sampai no } 100}{100} \\
 &= \frac{319,222}{100} = 3,1922
 \end{aligned}$$



## b. Pemeriksaan Kadar Air

Nomor Talam :			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	513.4	536.4
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	511.5	534.5
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	1.9	1.9
4	Berat Talam	(gr)	74.8	74.4
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	436.7	460.1
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0.4351	0.4130
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0.4240	

## c. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

NOMOR CONTOH			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	(gr)	500
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	496.9
Berat piknometer + air	B	(gr)	658.2
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt	(gr)	965.6

NOMOR CONTOH	A	
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$Bk/(B+500-Bt)$	2.580
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$500/(B+500-Bt)$	2.596
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	$Bk/(B+Bk-Bt)$	2.622
Penyerapan (%) (Absorption)	$(500-Bk)/Bk \times 100\%$	0.624

## d. Berat Isi Agregat

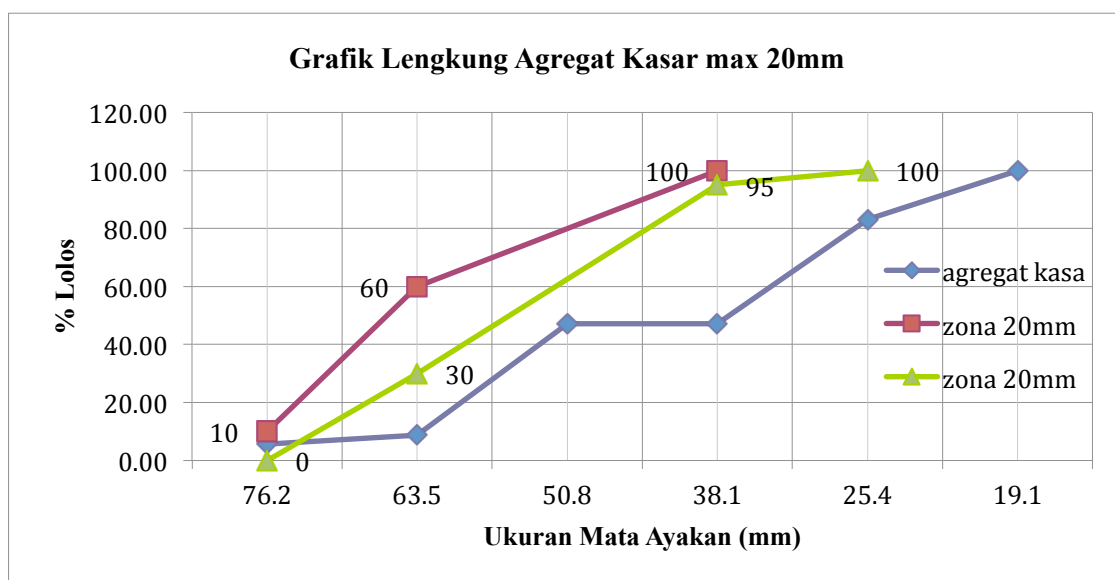
NO	Keterangan	Satuan		
1	Berat takaran	(gr)	1059.2	1059.2
2	Berat takaran + air	(gr)	3093.0	3093
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	2033.8	2033.8
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1.9201	1.9201
	<b>CARA</b>		<b>RODDED</b>	<b>SHOVELED</b>
5	Berat Takaran	(gr)	1059.2	1059.2
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	4394.4	4066.6
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3335.2	3007.4
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1736.9672	1566.2494
9	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/cc)	1651.6083	

## 2. Data Hasil Analisis Agregat Kasar (Batu Bata)

### a. Analisis Gradasi

Lubang Saringan		Limbah Batu Bata			
		Tertinggal		%Kumulatif	
NO	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	-	-	-	100
2.5"	63.5	-	-	-	100
2"	50.8	-	-	-	100
1.5"	38.1	-	-	-	100
1"	25.4	1680	16.80	16.80	83.20
0.75"	19.1	3600	36.00	52.80	47.20
0.5"	12.7	0	0.00	52.80	47.20
0.375"	9.5	3840	38.40	91.20	8.80
4	4.76	320	3.20	94.40	5.60
8	2.38	560	5.60	100.00	0.00
16	1.19	-	-	100.00	0
20	0.85	-	-	100.00	0
50	0.297	-	-	100.00	0
100	0.149	-	-	100.00	0
200	0.075	-	-	100.00	0
Pan		-	-	-	-
Σ =		10000	100.0	908.00	

$$\begin{aligned} \text{Modulus halus agregat kasar} &= \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/4" + 3/8" \text{ sampai no } 100}{100} \\ &= \frac{908}{100} = 9,08 \end{aligned}$$



## b. Pemeriksaan Kadar Air

Nomor Talam :			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	734.6	682.6
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	719.5	676.5
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	15.1	6.1
4	Berat Talam	(gr)	74.4	74.8
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	645.1	601.7
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	2.3407	1.0138
7	Kadar Air rata-rata	(%)	1.6773	

## c. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Nomor Contoh			A	B	C	D	E
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	648.8	644	650.4	647.6	630.8
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	500	500	500	500	500
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	293.5	291	293	295	286

Nomor Contoh		A	B	C	D	E
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(Bj-Ba)	1.407	1.416	1.399	1.418	1.450
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)	1.826	1.824	1.820	1.837	1.829
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)	2.421	2.392	2.415	2.439	2.336
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%	29.76	28.80	30.08	29.52	26.16
Rata-rata Penyerapan (%)		28.864				

## d. Berat Isi Agregat

NO	Keterangan	Satuan		
1	Berat takaran	(gr)	1059.2	1059.2
2	Berat takaran + air	(gr)	3093	3093
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	2033.8	2033.8
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1.9201	1.9201
	<b>CARA</b>		<b>RODDED</b>	<b>SHOVELED</b>
5	Berat Takaran	(gr)	1059.2	1059.2
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	2735	2617.4
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	1675.8	1558.2
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	872.7541	811.5082
9	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	842.1312	

## 3. Data Hasil Mix Design

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	22,5 Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-
3	Nilai Tambah (Margin)	(K=1,64) 1,64*(2)	12 Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	34,5 Mpa

5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)		
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu Bata		
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir		
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	0,52		
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6		
9	Slump	Ditetapkan	60-180 mm		
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm		
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	205	kg/m3	
12	Jumlah semen	(11) : (7)	394.231	kg/m3	
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-		
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	325 kg/m3		
15	FAS yg disesuaikan	-	-		
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	Zona 1		
17	Persen agregat halus	Grafik 13 - 15	54 %		
18	Berat Jenis Relatif Agregat (SSD)	Diketahui	2,544	kg/m3	
19	Berat isi beton	Grafik 16	2312,5	kg/m3	
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1713,269	kg/m3	
21	Kadar agregat halus	(17) * (20)	925,165	kg/m3	
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	788,104	kg/m3	
Banyaknya Bahan (Teoritis)		Semen ( kg )	Air ( kg/lt )	Ag. Halus ( kg )	Ag. Kasar ( kg )
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)		394,23	205	925,165	788,104
Tiap campuran uji 0,03082 m3		12,15	6,32	28,51	24,29
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)		394,23	421,11	923,316	573,844
Tiap campuran uji 0,03082 m3		12,1502	12,9786	28,4566	17,6859
Proporsi (Teoritis) (1/3)		1	0,52	2,35	2,00
Proporsi (Aktual)		1	1,07	2,34	1,46

#### 4. Data Hasil Uji Kuat Tekan Silinder

Dimensi Silinder Beton (15x30) cm :

Luas Penampang :  $A = 17662,5 \text{ mm}^2$

Volume :  $V = 5,299 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

Umur Beton : 7 Hari, Koreksi Umur Beton: 0,65

Benda Uji	Berat kg	Berat Isi kg/m <sup>3</sup>	Berat Isi Rata-Rata kg/m <sup>3</sup>	P <sub>max</sub> kN	Kuat Tekan 7 hari N/mm <sup>2</sup>	Kuat Tekan 28 hari N/mm <sup>2</sup>	Kuat Tekan Rata-Rata N/mm <sup>2</sup>
1	10,45	1972,1632	1969,0179	144	8,1529	12,5429	10,8008
2	10,50	1981,5994		103	5,8316	8,9716	
3	10,35	1953,2909		125	7,0771	10,8879	

### Silinder Kontrol Benda Uji

Dimensi Silinder Beton (15x30) cm :

Luas Penampang :  $A = 17662,5 \text{ mm}^2$

Umur Beton : 28 Hari, Koreksi Umur Beton : 1,00

Benda Uji	$P_{\max}$ (kN)	Kuat Tekan 28 hari (N/mm <sup>2</sup> )
A-1	192	10.86
A-2	184	10.41
A-3	267	15.10
A-4	191.5	10.83
A-5	244.5	13.83
A-6	237	13.41

### 5. Data Hasil Uji Kekakuan Kuda-Kuda

#### a. Kuda-Kuda Beton Komposit dengan Pelat Baut Beban Vertikal Simetris

Kode Benda Uji = A-5

Berat Benda Uji = 133,5 kg

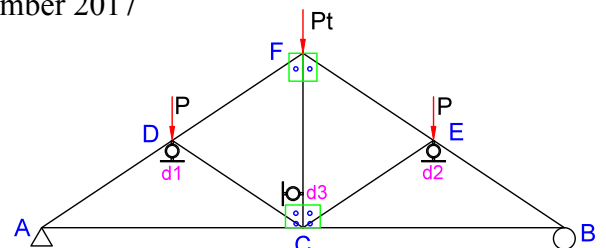
Tangga Pengujian = 13 Desember 2017

Beban Tetap 100 kg =  $P_T$

Perpindahan Vertikal Titik D =  $\Delta d1$

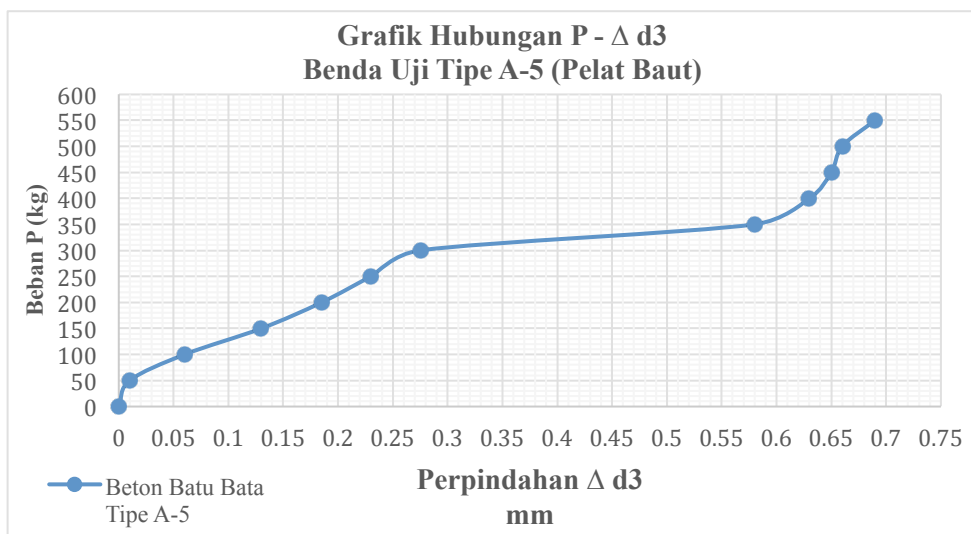
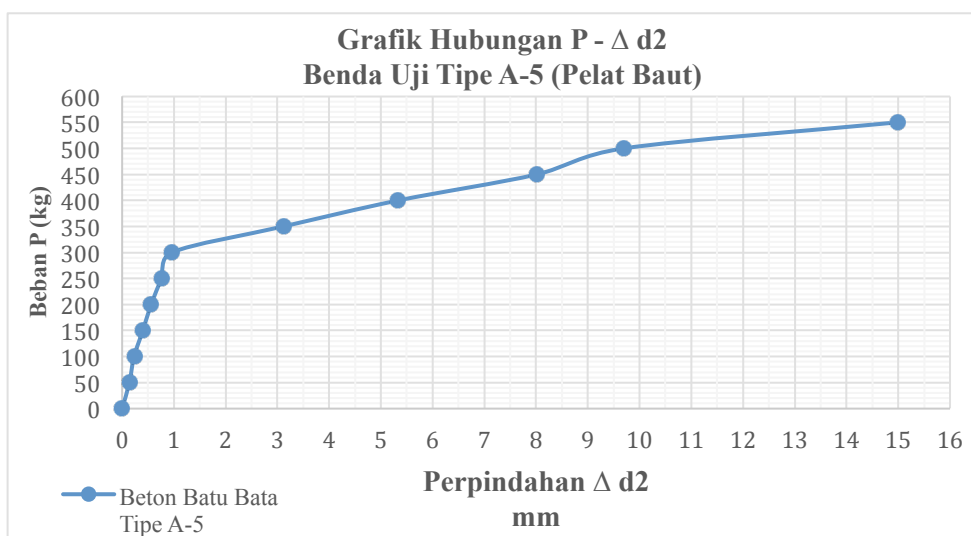
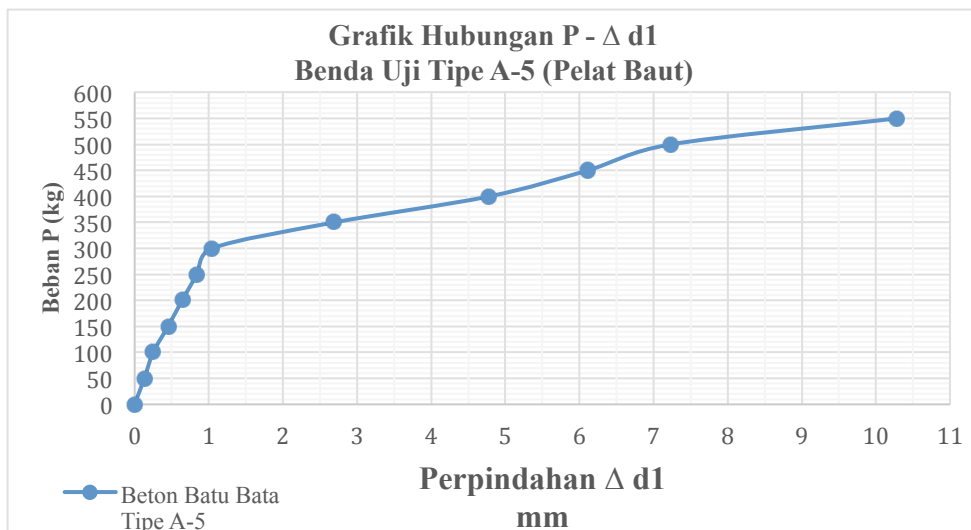
Perpindahan Vertikal Titik E =  $\Delta d2$

Perpindahan Horizontal Titik C =  $\Delta d3$



No	$P_i$	$d1$	$d2$	$d3$	$\Delta d1$	$\Delta d2$	$\Delta d3$
	Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0	22.3	28.96	0	0	0	0
2	50	22.43	29.1	1	0.13	0.14	0.01
3	100	22.55	29.19	6	0.25	0.23	0.06
4	150	22.75	29.36	13	0.45	0.4	0.13
5	200	22.94	29.52	18.5	0.64	0.56	0.185
6	250	23.14	29.72	23	0.84	0.76	0.23
7	300	23.34	29.92	27.5	1.04	0.96	0.275
8	350	24.99	32.08	58	2.69	3.12	0.58
9	400	27.08	34.3	63	4.78	5.34	0.63
10	450	28.41	36.98	65	6.11	8.02	0.65
11	500	29.53	38.66	66	7.23	9.7	0.66
12	550	32.58	43.96	69	10.28	15	0.69





Kode Benda Uji

= A-6

Berat Benda Uji

= 134,45 kg

Tangga Pengujian

= 14 Desember 2017

Beban Tetap 100 kg

=  $P_T$ 

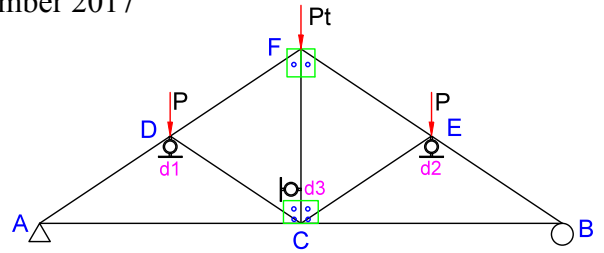
Perpindahan Vertikal Titik D

=  $\Delta d1$ 

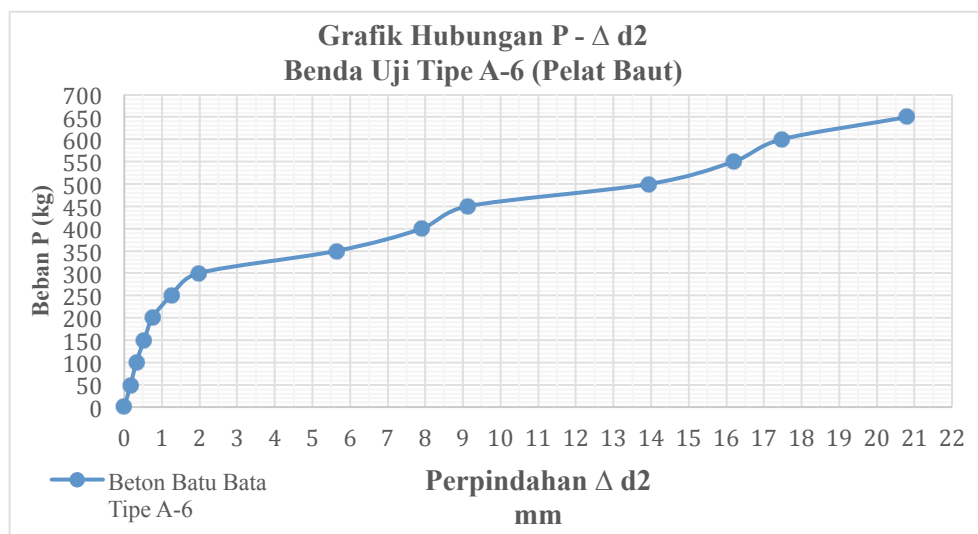
Perpindahan Vertikal Titik E

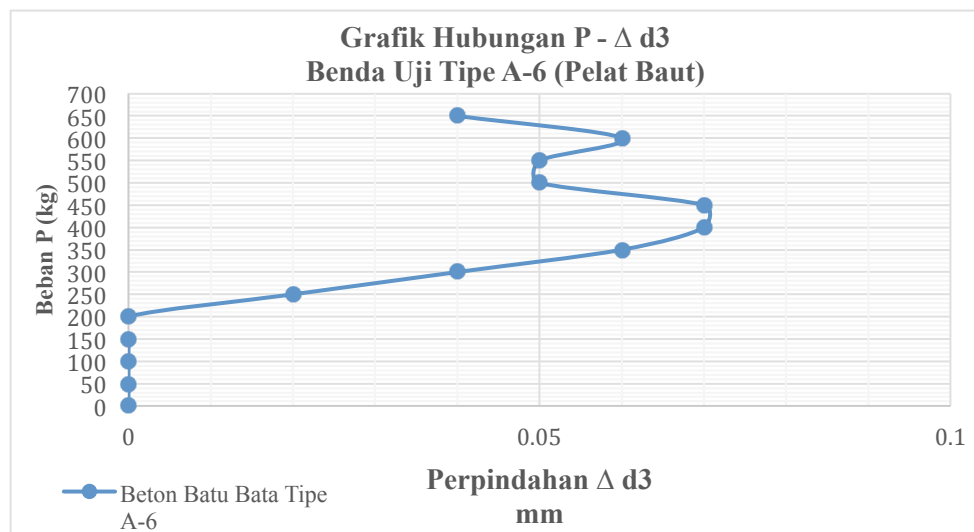
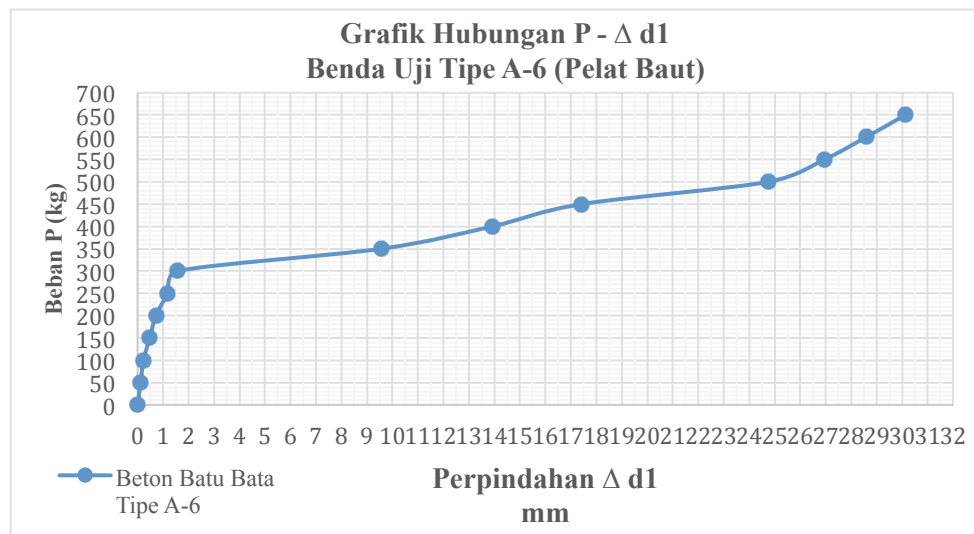
=  $\Delta d2$ 

Perpindahan Horizontal Titik C

=  $\Delta d3$ 

No	$P_i$	$d1$	$d2$	$d3$	$\Delta d1$	$\Delta d2$	$\Delta d3$
	Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0	25.03	14.18	0	0	0	0
2	50	25.15	14.35	0	0.12	0.17	0
3	100	25.26	14.5	0	0.23	0.32	0
4	150	25.51	14.71	0	0.48	0.53	0
5	200	25.75	14.93	0	0.72	0.75	0
6	250	26.21	15.43	2	1.18	1.25	0.02
7	300	26.59	16.15	4	1.56	1.97	0.04
8	350	34.59	19.82	6	9.56	5.64	0.06
9	400	38.94	22.09	7	13.91	7.91	0.07
10	450	42.46	23.3	7	17.43	9.12	0.07
11	500	49.78	28.13	5	24.75	13.95	0.05
12	550	51.98	30.37	5	26.95	16.19	0.05
13	600	53.61	31.65	6	28.58	17.47	0.06
14	650	55.16	34.99	4	30.13	20.81	0.04





b. Kuda-Kuda Beton Komposit dengan Pelat Baut Beban Horizontal

Kode Benda Uji = A-1

Berat Benda Uji = 133,55 kg

Tangga Pengujian = 18 Desember 2017

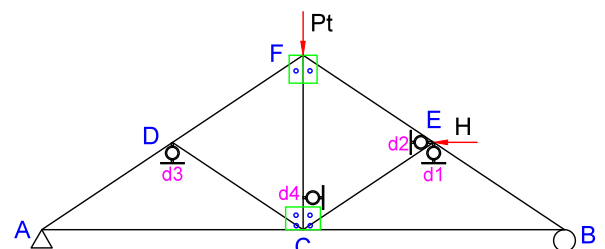
Beban Tetap 100 kg =  $P_T$

Perpindahan Vertikal Titik E =  $\Delta d1$

Perpindahan Horizontal Titik E =  $\Delta d2$

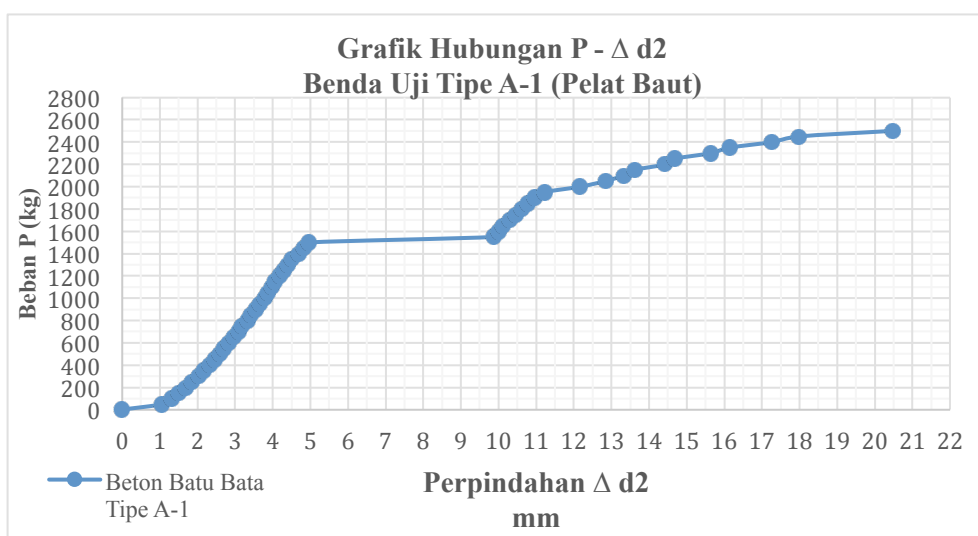
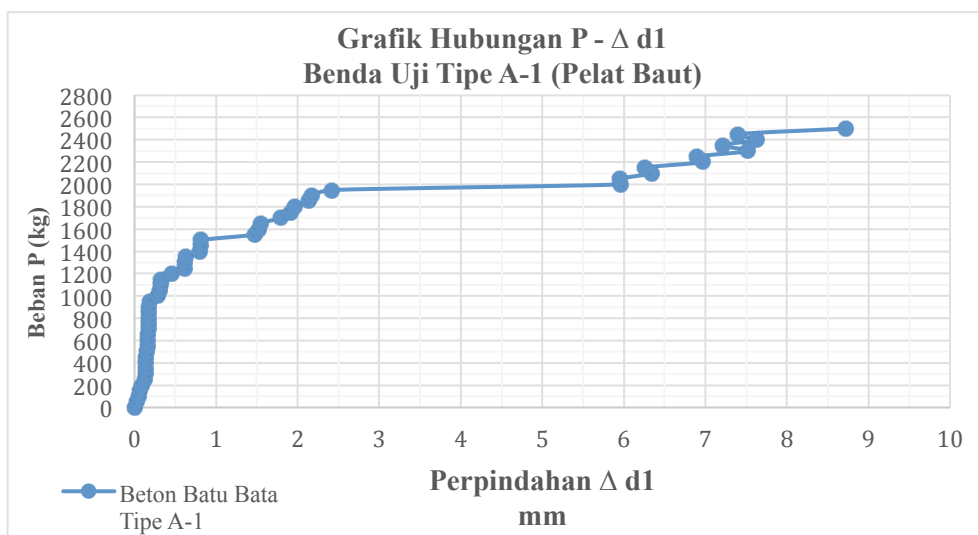
Perpindahan Vertikal Titik D =  $\Delta d3$

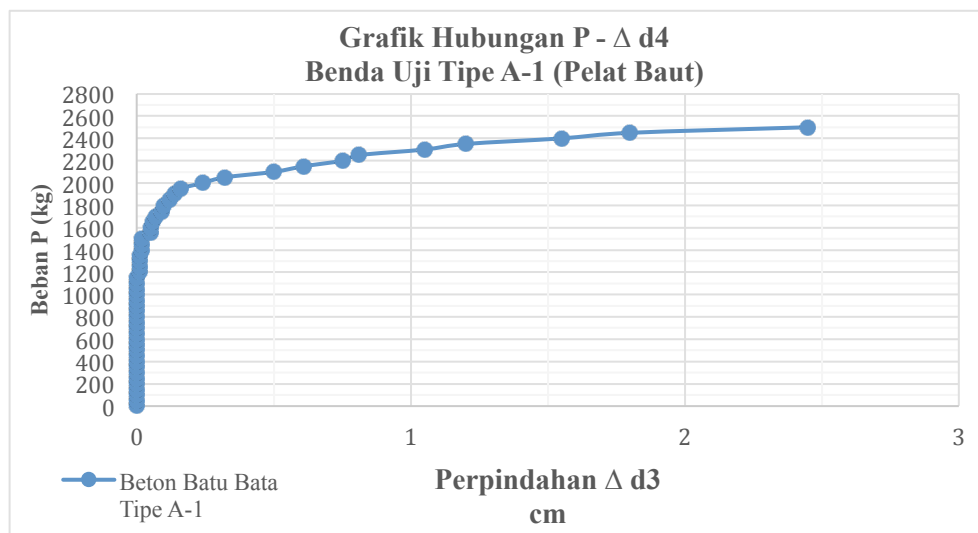
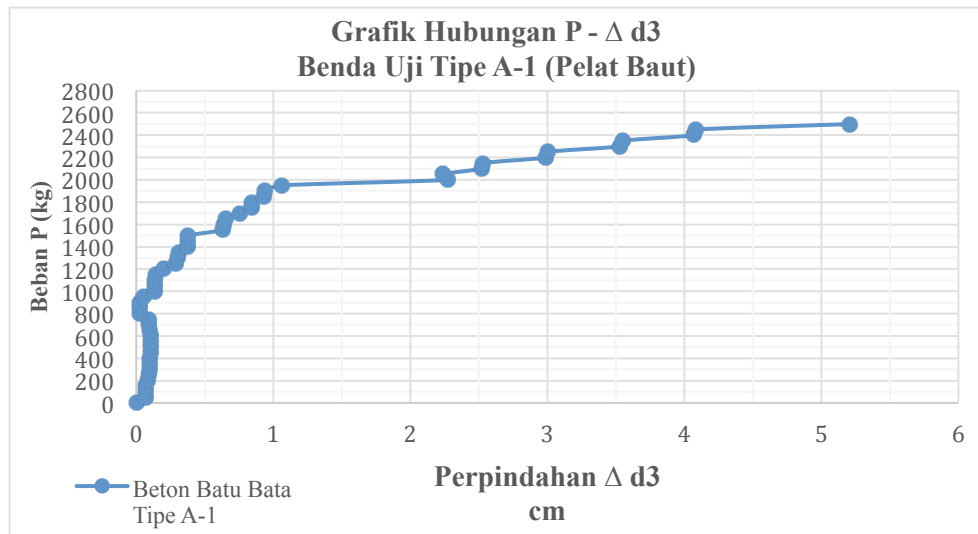
Perpindahan Horizontal Titik C =  $\Delta d4$



No	Pi	d1	d2	d3	d4	$\Delta d1$	$\Delta d2$	$\Delta d3$	$\Delta d4$
	Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0	29.06	22	39.29	0	0	0	0	0
2	50	29.03	23.06	39.22	0	0.03	1.06	0.07	0
3	100	29.01	23.33	39.22	0	0.05	1.33	0.07	0
4	150	28.99	23.52	39.22	0	0.07	1.52	0.07	0
5	200	28.97	23.68	39.21	0	0.09	1.68	0.08	0
6	250	28.93	23.86	39.2	0	0.13	1.86	0.09	0
7	300	28.92	24.03	39.19	0	0.14	2.03	0.1	0
8	350	28.92	24.18	39.19	0	0.14	2.18	0.1	0
9	400	28.92	24.33	39.19	0	0.14	2.33	0.1	0
10	450	28.92	24.46	39.18	0	0.14	2.46	0.11	0
11	500	28.91	24.59	39.18	0	0.15	2.59	0.11	0
12	550	28.9	24.69	39.18	0	0.16	2.69	0.11	0
13	600	28.9	24.83	39.18	0	0.16	2.83	0.11	0
14	650	28.9	24.97	39.19	0	0.16	2.97	0.1	0
15	700	28.89	25.1	39.2	0	0.17	3.1	0.09	0
16	750	28.89	25.17	39.2	0	0.17	3.17	0.09	0
17	800	28.89	25.34	39.26	0	0.17	3.34	0.03	0
18	850	28.89	25.42	39.26	0	0.17	3.42	0.03	0
19	900	28.89	25.53	39.26	0	0.17	3.53	0.03	0
20	950	28.87	25.65	39.24	0	0.19	3.65	0.05	0
21	1000	28.77	25.77	39.16	0	0.29	3.77	0.13	0
22	1050	28.76	25.88	39.16	0	0.3	3.88	0.13	0
23	1100	28.74	25.97	39.16	0	0.32	3.97	0.13	0
24	1150	28.73	26.04	39.15	0	0.33	4.04	0.14	0
25	1200	28.6	26.19	39.09	0.01	0.46	4.19	0.2	0.01
26	1250	28.45	26.29	39	0.01	0.61	4.29	0.29	0.01
27	1300	28.44	26.39	38.99	0.01	0.62	4.39	0.3	0.01
28	1350	28.43	26.51	38.98	0.01	0.63	4.51	0.31	0.01
29	1400	28.26	26.68	38.91	0.02	0.8	4.68	0.38	0.02
30	1450	28.25	26.83	38.91	0.02	0.81	4.83	0.38	0.02
31	1500	28.25	26.97	38.91	0.02	0.81	4.97	0.38	0.02
32	1550	27.59	31.89	38.66	0.05	1.47	9.89	0.63	0.05
33	1600	27.54	32	38.65	0.05	1.52	10	0.64	0.05
34	1650	27.51	32.11	38.64	0.06	1.55	10.11	0.65	0.06
35	1700	27.27	32.3	38.53	0.07	1.79	10.3	0.76	0.07
36	1750	27.14	32.47	38.45	0.09	1.92	10.47	0.84	0.09
37	1800	27.09	32.62	38.45	0.1	1.97	10.62	0.84	0.1
38	1850	26.93	32.76	38.36	0.12	2.13	10.76	0.93	0.12
39	1900	26.89	32.97	38.35	0.14	2.17	10.97	0.94	0.14
40	1950	26.64	33.22	38.23	0.16	2.42	11.22	1.06	0.16

No	Pi	d1	d2	d3	d4	$\Delta d1$	$\Delta d2$	$\Delta d3$	$\Delta d4$
	Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
41	2000	23.1	34.17	37.02	0.24	5.96	12.17	2.27	0.24
42	2050	23.11	34.84	37.05	0.32	5.95	12.84	2.24	0.32
43	2100	22.72	35.33	36.77	0.5	6.34	13.33	2.52	0.5
44	2150	22.81	35.62	36.76	0.61	6.25	13.62	2.53	0.61
45	2200	22.09	36.42	36.3	0.75	6.97	14.42	2.99	0.75
46	2250	22.16	36.68	36.29	0.81	6.9	14.68	3	0.81
47	2300	21.54	37.63	35.76	1.05	7.52	15.63	3.53	1.05
48	2350	21.85	38.15	35.74	1.2	7.21	16.15	3.55	1.2
49	2400	21.43	39.27	35.22	1.55	7.63	17.27	4.07	1.55
50	2450	21.66	39.98	35.21	1.8	7.4	17.98	4.08	1.8
51	2500	20.34	42.46	34.08	2.45	8.72	20.46	5.21	2.45





Kode Benda Uji

= A-2

Berat Benda Uji

= 140,8 kg

Tangga Pengujian

= 18 Desember 2017

Beban Tetap 100 kg

=  $P_T$

Perpindahan Vertikal Titik E

=  $\Delta d1$

Perpindahan Horizontal Titik E

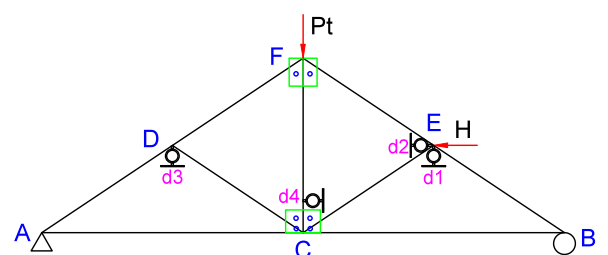
=  $\Delta d2$

Perpindahan Vertikal Titik D

=  $\Delta d3$

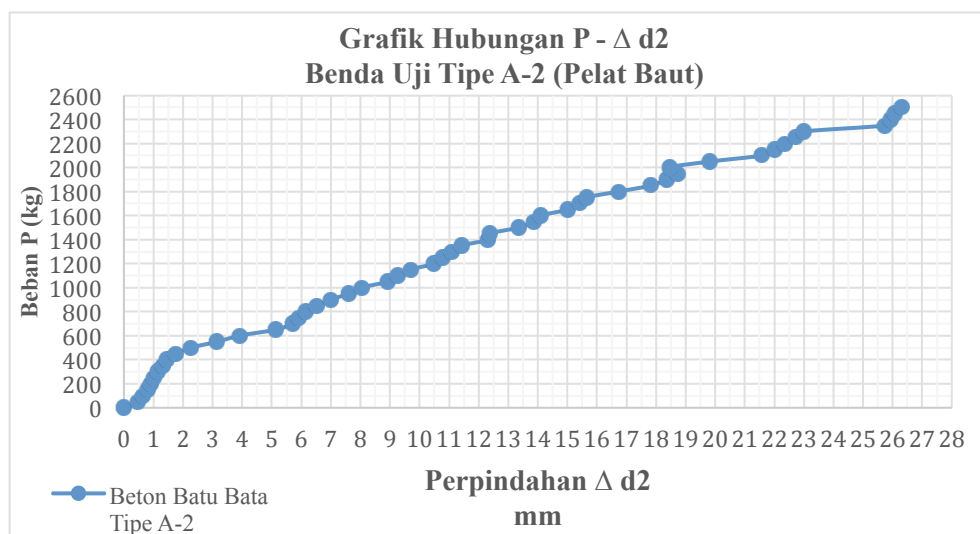
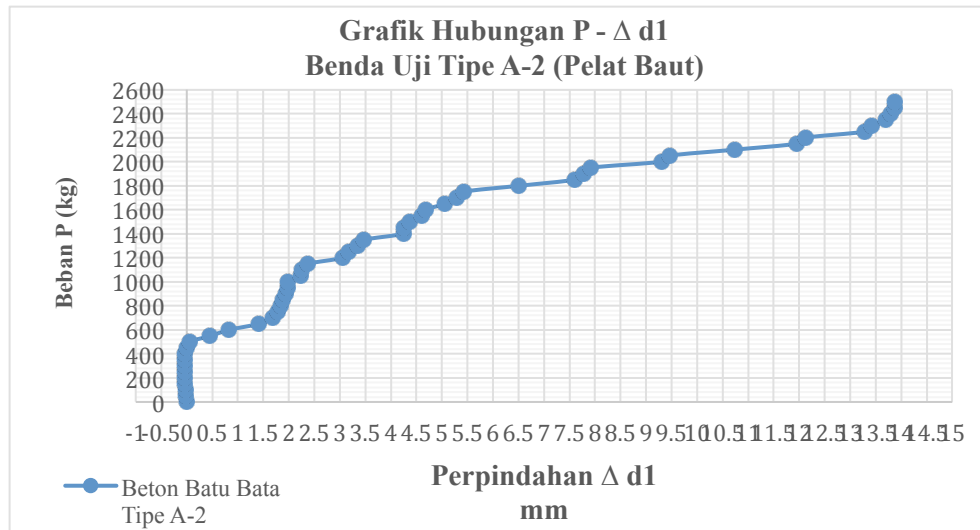
Perpindahan Horizontal Titik C

=  $\Delta d4$

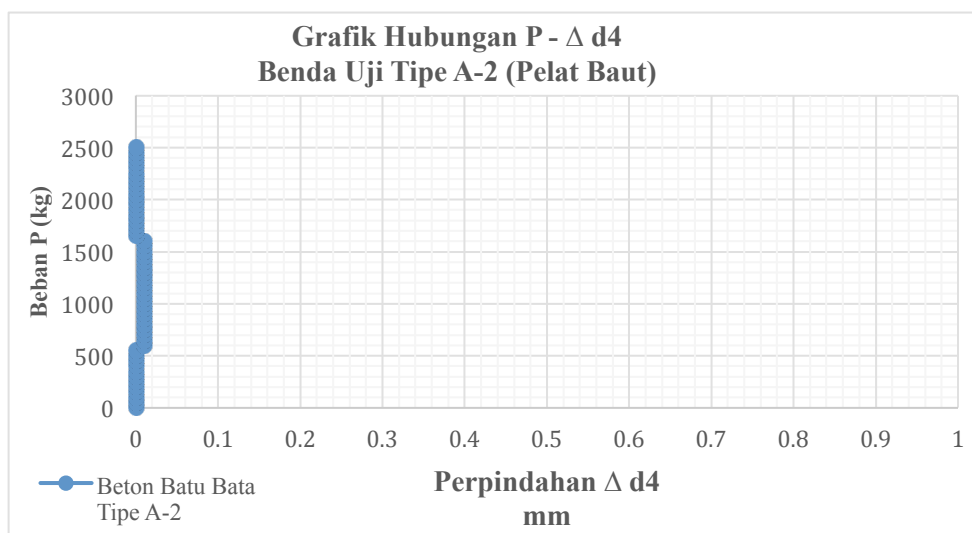
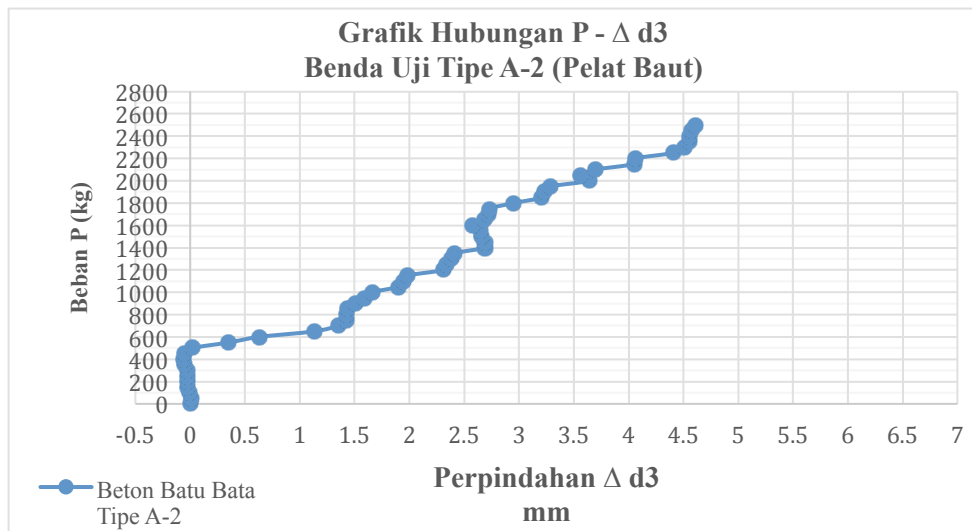


No	Pi	d1	d2	d3	d4	$\Delta d1$	$\Delta d2$	$\Delta d3$	$\Delta d4$
	Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0	35.46	26.12	46.31	0	0	0	0	0
2	50	35.48	26.59	46.3	0	-0.02	0.47	0.01	0
3	100	35.48	26.75	46.32	0	-0.02	0.63	-0.01	0
4	150	35.49	26.9	46.33	0	-0.03	0.78	-0.02	0
5	200	35.49	27.02	46.33	0	-0.03	0.9	-0.02	0
6	250	35.49	27.12	46.33	0	-0.03	1	-0.02	0
7	300	35.49	27.26	46.34	0	-0.03	1.14	-0.03	0
8	350	35.49	27.42	46.36	0	-0.03	1.3	-0.05	0
9	400	35.49	27.59	46.37	0	-0.03	1.47	-0.06	0
10	450	35.46	27.87	46.36	0	0	1.75	-0.05	0
11	500	35.41	28.38	46.29	0	0.05	2.26	0.02	0
12	550	35	29.28	45.96	0	0.46	3.16	0.35	0
13	600	34.63	30.03	45.68	0.01	0.83	3.91	0.63	0.01
14	650	34.05	31.25	45.18	0.01	1.41	5.13	1.13	0.01
15	700	33.78	31.85	44.96	0.01	1.68	5.73	1.35	0.01
16	750	33.68	32.02	44.89	0.01	1.78	5.9	1.42	0.01
17	800	33.63	32.27	44.88	0.01	1.83	6.15	1.43	0.01
18	850	33.57	32.64	44.87	0.01	1.89	6.52	1.44	0.01
19	900	33.52	33.12	44.8	0.01	1.94	7	1.51	0.01
20	950	33.48	33.72	44.72	0.01	1.98	7.6	1.59	0.01
21	1000	33.48	34.16	44.65	0.01	1.98	8.04	1.66	0.01
22	1050	33.24	35.04	44.41	0.01	2.22	8.92	1.9	0.01
23	1100	33.2	35.39	44.37	0.01	2.26	9.27	1.94	0.01
24	1150	33.09	35.81	44.33	0.01	2.37	9.69	1.98	0.01
25	1200	32.4	36.62	44	0.01	3.06	10.5	2.31	0.01
26	1250	32.28	36.9	43.97	0.01	3.18	10.78	2.34	0.01
27	1300	32.11	37.2	43.93	0.01	3.35	11.08	2.38	0.01
28	1350	31.99	37.54	43.9	0.01	3.47	11.42	2.41	0.01
29	1400	31.22	38.44	43.62	0.01	4.24	12.32	2.69	0.01
30	1450	31.22	38.49	43.62	0.01	4.24	12.37	2.69	0.01
31	1500	31.09	39.47	43.65	0.01	4.37	13.35	2.66	0.01
32	1550	30.87	39.97	43.66	0.01	4.59	13.85	2.65	0.01
33	1600	30.78	40.22	43.73	0.01	4.68	14.1	2.58	0.01
34	1650	30.4	41.14	43.63	0	5.06	15.02	2.68	0
35	1700	30.16	41.53	43.59	0	5.3	15.41	2.72	0
36	1750	30.04	41.76	43.58	0	5.42	15.64	2.73	0
37	1800	28.94	42.85	43.36	0	6.52	16.73	2.95	0
38	1850	27.87	43.95	43.1	0	7.59	17.83	3.21	0
39	1900	27.69	44.48	43.08	0	7.77	18.36	3.23	0
40	1950	27.54	44.87	43.02	0	7.92	18.75	3.29	0

No	Pi	d1	d2	d3	d4	$\Delta d1$	$\Delta d2$	$\Delta d3$	$\Delta d4$
	Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
41	2000	26.16	44.57	42.67	0	9.3	18.45	3.64	0
42	2050	26	45.95	42.75	0	9.46	19.83	3.56	0
43	2100	24.73	47.69	42.61	0	10.73	21.57	3.7	0
44	2150	23.51	48.12	42.26	0	11.95	22	4.05	0
45	2200	23.34	48.47	42.25	0	12.12	22.35	4.06	0
46	2250	22.18	48.85	41.9	0	13.28	22.73	4.41	0
47	2300	22.04	49.13	41.8	0	13.42	23.01	4.51	0
48	2350	21.77	51.86	41.75	0	13.69	25.74	4.56	0
49	2400	21.66	52.07	41.75	0	13.8	25.95	4.56	0
50	2450	21.6	52.19	41.74	0	13.86	26.07	4.57	0
51	2500	21.59	52.42	41.7	0	13.87	26.3	4.61	0







#### 6. Perhitungan Beban Maksimum Teoritis yang Mampu ditahan Kuda-Kuda

Untuk memperoleh beban maksimum tiap tipe pembebanan kuda-kuda beton tulangan bambu, dilakukan dengan tahap perhitungan sebagai berikut:

1. Hitung beban  $P_o$  yang ditahan batang sesuai kapasitas kuat tekan atau tarik bahan penyusun batang. Beton dan tulangan bambu pada batang tarik dan tekan.
2. Hitung gaya batang akibat berat sendiri beton
3. Hitung gaya batang akibat beban luar untuk semua tipe pengujian benda uji, dalam hal ini adalah  $P_T$ ,  $P$ , dan  $H$  sesuai rencana pengujian
4. Hitung jumlah beban total maksimum untuk batang tarik dan tekan
5. Beban total maksimum batang tarik atau tekan terkecil menentukan beban  $P$  maks yang mampu ditahan

## a. Data Teknis

Kuat tekan beton	$= f'_c = 10,8 \text{ MPa}$
Kuat tarik beton	$= f'_{cr} = 0,57\sqrt{f'_c} = 1,878 \text{ MPa}$
Berat isi beton	$= 1969,018 \text{ kg/m}^3$
Elastisitas beton	$= E_c = W_c^{1,5} (0,043)\sqrt{f'_c} = 12346,812 \text{ MPa}$
Kuat tarik bambu (ftr)	$= f_{y_{\text{bambu}}} = 149,67 \text{ (Ummiati, 2009)}$
Kuat tekan bambu (ftk)	$= 35,10 \text{ Mpa (Febelin, 2011)}$
Alat sambung kuda-kuda	$= \text{Tulangan } \phi 10 \text{ mm}$
Jenis sambungan antar segmen	$= \text{Pelat Baut}$
Sudut $\alpha$	$= 35^\circ$

## b. Beban P Maksimum yang Mampu ditahan Batang

Analisis Batang Beton Bertulang dengan Beban Axial Tekan Murni

$$\begin{aligned}
 P_o &= 0,85.f'_c.(A_g - (2.A_{st} \text{ Bambu})) + (A_{st} \text{ Bambu}.f_{tk} \text{ Bambu}) \\
 &= 0,85.10,80.(80^2 - (2.10^2)) + (10^2.35,10) \\
 &= 56916 + 3510 \\
 &= 60426 \text{ N} = 6042,6 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Analisis Batang Beton Bertulang dengan Beban Axial Tarik Murni

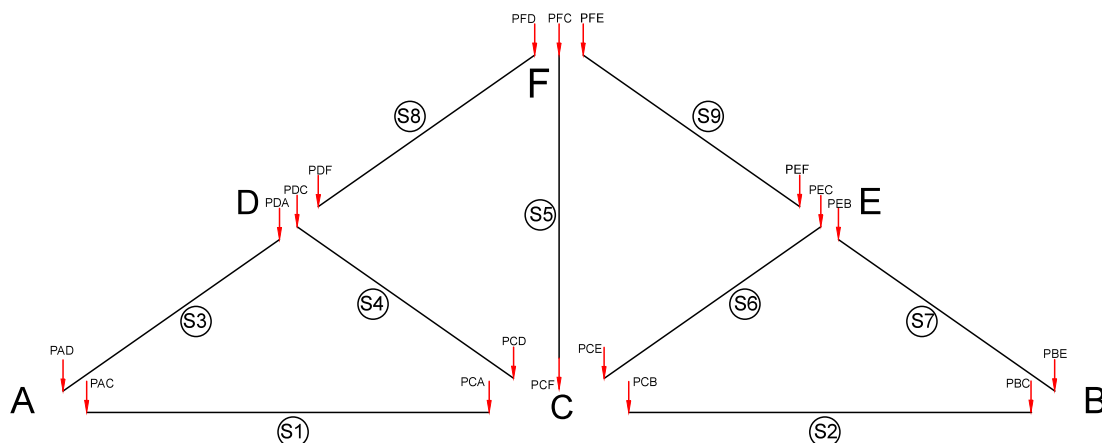
$$\begin{aligned}
 P_o &= (A_{st} \text{ Bambu}.f_{tr} \text{ Bambu}) \\
 &= (10^2.149,67) \\
 &= 14967 \text{ N} = 1496,7 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

## c. Gaya-Gaya Rangka Batang

## • Akibat Berat Sendiri

Beban mati akibat berat sendiri diasumsikan sebagai beban terpusat yang bekerja pada titik buhul struktur

No. Batang	Panjang (cm)	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	No. Batang	Panjang (cm)	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )
1	150	8x8 = 64	6	63,74	8x8 = 64
2	150	8x8 = 64	7	82,25	8x8 = 64
3	82,25	8x8 = 64	8	63,33	8x8 = 64
4	63,74	8x8 = 64	9	63,33	8x8 = 64
5	100,93	8x16 = 128			



Perhitungan beban terpusat yang bekerja

Luas Penampang  $= A = 8 \text{ cm} \times 8 \text{ cm} = 64 \text{ cm}^2$

Berat Isi Beton  $= \gamma_c = 1969,018 \text{ kg/m}^3$

Besar gaya Terpusat Per Batang  $= P_{\text{batang}} = \gamma_c \times A \times L$

Besar gaya per Titik Buhul Per batang  $P_{\text{joint}} = P_{\text{batang}}/2$

Nama Beban Terpusat		No. Batang	Panjang (cm)	Besar Gaya (kg)	
PA	$P_{AC}$	1	150	9,4416	14,6187
	$P_{AD}$	3	82,25	5,1771	
PC	$P_{CA}$	1	150	9,4416	39,6133
	$P_{CD}$	4	63,74	4,0121	
	$P_{CF}$	5	100,93	12,7059	
	$P_{CE}$	6	63,74	4,0121	
	$P_{CB}$	2	150	9,4416	
	$P_{BE}$	7	82,25	5,1771	14,6187
PB	$P_{BC}$	2	150	9,4416	
PE	$P_{EF}$	9	63,33	3,9863	13,1755
	$P_{EC}$	6	63,74	4,0121	
	$P_{EB}$	7	82,25	5,1771	
PF	$P_{FE}$	9	63,33	3,9863	20,6785
	$P_{FC}$	5	100,93	12,7059	
	$P_{FD}$	8	63,33	3,9863	
PD	$P_{DF}$	8	63,33	3,9863	13,1755
	$P_{DC}$	4	63,74	4,0121	
	$P_{DA}$	3	82,25	5,1771	

Contoh Perhitungan :

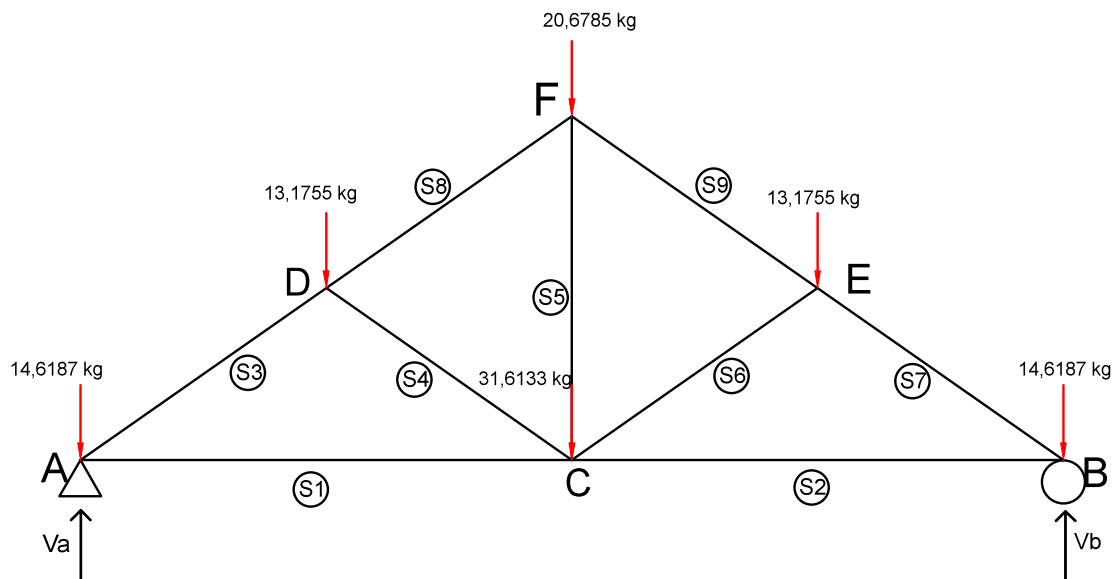
$$\gamma_c = 1969,018 \text{ kg/m}^3 = 1,969 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$$

$$A_5 = 128 \text{ cm}^2$$

$$L_5 = 100,93 \text{ cm}$$

$$P_{CF} = \frac{\gamma_c \times A_5 \times L_5}{2} = \frac{(1,969 \times 10^{-3} \times 128 \times 100,93)}{2} = 12,7059 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} P_C &= P_{CA} + P_{CD} + P_{CF} + P_{CE} + P_{CB} \\ &= 9,4416 + 4,0121 + 12,7059 + 4,0121 + 9,4416 = 39,6133 \text{ Kg} \end{aligned}$$



Pemeriksaan ketentuan Statika

$$N = 2j - r$$

$$9 = 2 \cdot (6) - 3$$

$$9 = 12 - 3$$

$$9 = 9 \quad (\text{Statis Tertentu})$$

Berdasarkan perhitungan Beban Luar didapatkan:

$$P_A : 14,6187 \text{ kg}$$

$$P_B : 14,6187 \text{ kg}$$

$$P_C : 39,6133 \text{ kg}$$

$$P_F : 20,6785 \text{ kg}$$

$$P_E : 13,1755 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{l} P_D : 13,1755 \text{ kg} \\ \hline \Sigma P : 115,8802 \text{ kg} \end{array} \quad +$$

### Perhitungan Reaksi Tumpuan

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_B \cdot 300 + P_D \cdot 75 + P_F \cdot 150 + P_C \cdot 150 + P_E \cdot 225 + P_B \cdot 300 = 0$$

$$-300V_B + 13,1755 \cdot 75 + 20,6875 \cdot 150 + 39,6133 \cdot 150 + 13,1755 \cdot 225 + 14,6187 \cdot 300 = 0$$

$$V_B = \frac{17382,03}{-300}$$

$$V_B = 57,9401 \text{ Kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot 300 + P_A \cdot 300 + P_D \cdot 225 + P_F \cdot 150 + P_C \cdot 150 + P_E \cdot 75 = 0$$

$$-300V_B + 14,6187 \cdot 300 + 13,1755 \cdot 225 + 20,6875 \cdot 150 + 39,6133 \cdot 150 + 13,1755 \cdot 75 = 0$$

$$V_B = \frac{17382,03}{-300}$$

$$V_B = 57,9401 \text{ Kg}$$

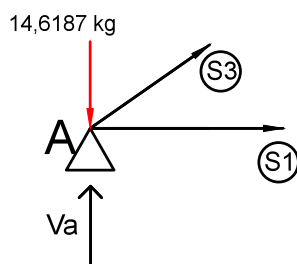
$$\Sigma V = 0$$

$$V_A + V_B = \Sigma P$$

$$57,9401 + 57,9401 = 115,8802 \text{ Kg}$$

$$115,8802 \text{ Kg} = 115,8802 \text{ Kg} \quad (\text{OK})$$

### BUHUL A



$$\Sigma V = 0$$

$$-P_A + V_A + S3 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$-14,6187 + 57,9401 + S3 \cdot 0,574 = 0$$

$$S3 = \frac{-43,3214}{0,574}$$

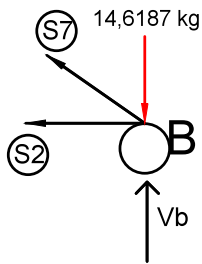
$$S3 = -75,473 \text{ Kg (tekan)}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S1 - S3 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$S1 - (75,473)(0,819) = 0$$

$$S1 = 61,812 \text{ Kg (tarik)}$$

BUHUL B

$$\Sigma V = 0$$

$$S7 \cdot \sin 35^\circ - P_B + V_B = 0$$

$$S7 \cdot 0,574 - 14,6187 + 57,9401 = 0$$

$$S7 = \frac{-43,3214}{0,574}$$

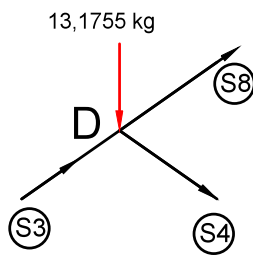
$$S7 = -75,473 \text{ Kg (tekan)}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S2 + S7 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$-S2 + (75,473)(0,819) = 0$$

$$S2 = 61,812 \text{ Kg (tarik)}$$

BUHUL D

$$\Sigma V = 0$$

$$-P_D + S3 \cdot \sin 35^\circ + S8 \cdot \sin 35^\circ - S4 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$-13,1755 + (75,473)(0,574) + 0,574S8 - 0,574S4 = 0$$

$$0,574 S8 - 0,574 S4 = -30,1459 \quad \dots(1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S3 \cdot \cos 35^\circ + S8 \cdot \cos 35^\circ + S4 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$(75,473)(0,819) + 0,819S8 + 0,819S4 = 0$$

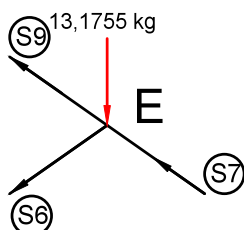
$$S8 + S4 = -75,473$$

$$\dots(2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$S4 = -11,4769 \text{ Kg (tekan)}$$

$$S8 = -63,9961 \text{ Kg (tekan)}$$

BUHUL E

$$\Sigma V = 0$$

$$-P_E + S9 \cdot \sin 35^\circ + S7 \cdot \sin 35^\circ - S6 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$-13,1755 + (75,473)(0,574) + 0,574S9 - 0,574S6 = 0$$

$$0,574 S9 - 0,574 S6 = -30,1459 \quad \dots(1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S7.\cos 35^\circ - S6.\cos 35^\circ - S9.\cos 35^\circ = 0$$

$$-(75,473)(0,819) - 0,819S6 - 0,819S9 = 0$$

$$S9 + S6 = -75,473$$

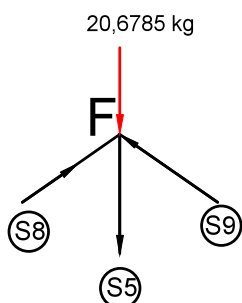
$$\dots(2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$S6 = -11,4769 \text{ Kg (tekan)}$$

$$S9 = -63,9961 \text{ Kg (tekan)}$$

### BUHUL F



$$\Sigma V = 0$$

$$-P_F - S5 + S9.\sin 35^\circ + S8.\sin 35^\circ = 0$$

$$-20,6785 + (63,9961)(0,574) + (63,9961)(0,574) - S5 = 0$$

$$S5 = 52,7891 \text{ Kg (tarik)}$$

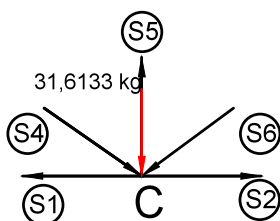
$$\Sigma H = 0$$

$$S8.\cos 35^\circ - S9.\cos 35^\circ = 0$$

$$(63,9961)(0,819) - (63,9961)(0,819) = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

### BUHUL C



$$\Sigma V = 0$$

$$S5 - S4.\sin 35^\circ - S6.\sin 35^\circ - P_C = 0$$

$$52,7891 - (11,4769)(0,574) - (11,4769)(0,574) -$$

$$39,6133 = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

$$\Sigma H = 0$$

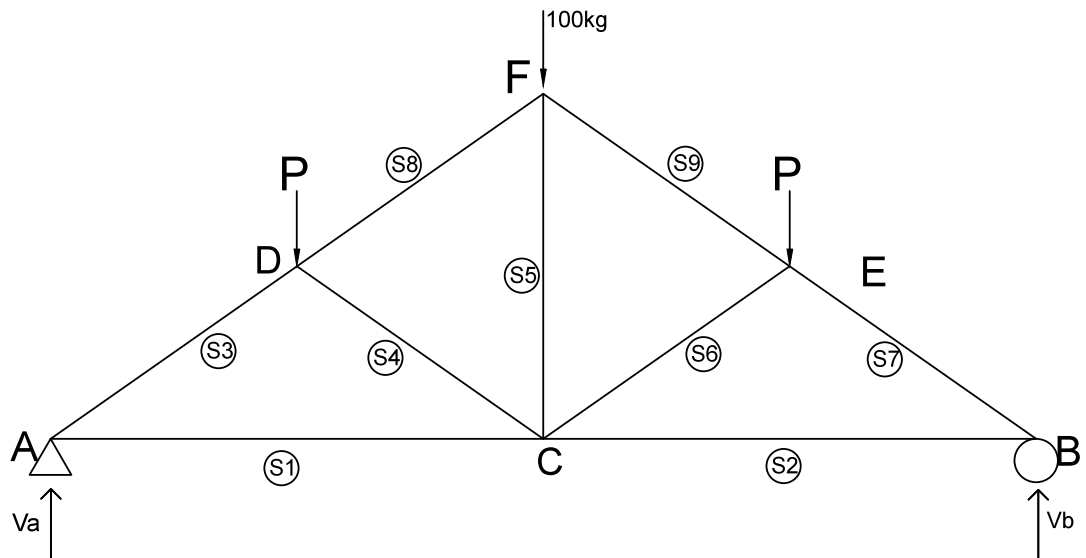
$$-S1 + S2 + S4.\cos 35^\circ - S6.\cos 35^\circ = 0$$

$$-61,812 + 61,812 + (11,4769)(0,819) -$$

$$(11,4759)(0,819) = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

- Akibat Beban Luar Vertikal Simetris

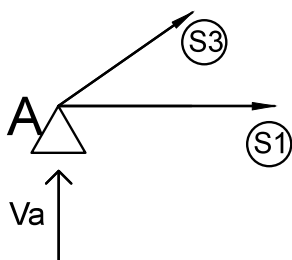


Perhitungan Reaksi Tumpuan

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_A &= 0 & \Sigma M_B &= 0 \\
 -V_B \cdot 300 + P \cdot 225 + P_T \cdot 150 + P \cdot 75 &= 0 & &= 0 \\
 \Sigma V &= 0 & V_A \cdot 300 - P \cdot 225 - P_T \cdot 150 - P \cdot 75 &= 0 \\
 -300V_B + P \cdot 225 + 100 \cdot 150 + P \cdot 75 &= 0 & 300V_A - P \cdot 225 - 100 \cdot 150 - P \cdot 75 &= 0 \\
 V_B &= \frac{-300P - 15000}{-300} & V_B &= \frac{300P + 15000}{300} \\
 \bar{V}_B &= 50 + P \text{ Kg} & &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_A &= 0 \\
 V_A + V_B &= P_T + P + P \\
 (50 + P) + (50 + P) &= 100 + 2P \text{ Kg} \\
 100 + 2P &= 100 + 2P \text{ Kg} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

BUHUL A



$$\begin{aligned}
 \Sigma V &= 0 \\
 V_A + S_3 \cdot \sin 35^\circ &= 0 \\
 (50 + P) + S_3 \cdot 0,574 &= 0 \\
 S_3 &= \frac{-50 - P}{0,574} \\
 S_3 &= -87,108 - 1,742P \text{ Kg (tekan)}
 \end{aligned}$$



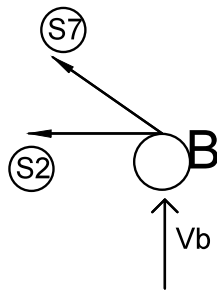
$$\Sigma H = 0$$

$$S1 - S3 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$S1 - (87,108 + 1,742 P)(0,819) = 0$$

$$\mathbf{S1 = 71,341 + 1,427P \text{ Kg (tarik)}}$$

#### BUHUL B



$$\Sigma V = 0$$

$$V_B + S7 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$(50 + P) + S7 \cdot 0,574 = 0$$

$$S7 = \frac{-50 - P}{0,574}$$

$$\mathbf{S7 = -87,108 - 1,742P \text{ Kg (tekan)}}$$

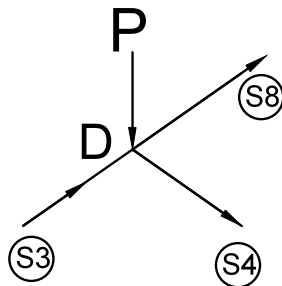
$$\Sigma H = 0$$

$$-S2 + S7 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$-S2 + (87,108 + 1,742 P)(0,819) = 0$$

$$\mathbf{S2 = 71,341 + 1,427P \text{ Kg (tarik)}}$$

#### BUHUL D



$$\Sigma V = 0$$

$$-P + S3 \cdot \sin 35^\circ + S8 \cdot \sin 35^\circ - S4 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$-P + (87,108 + 1,742 P)(0,574) + 0,574 S8 - 0,574 S4 = 0$$

$$0,574 S8 - 0,574 S4 = -50 \quad \dots(1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S3 \cdot \cos 35^\circ + S8 \cdot \cos 35^\circ + S4 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

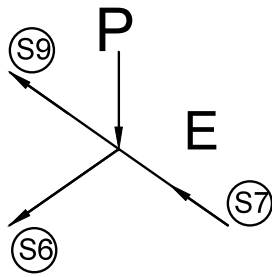
$$(87,108 + 1,742 P)(0,819) + 0,819 S8 + 0,819 S4 = 0$$

$$S8 + S4 = -87,108 - 1,742 P \quad \dots(2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$\mathbf{S4 = -0,871P \text{ Kg (tekan)}}$$

$$\mathbf{S8 = -87,108 - 0,871P \text{ Kg (tekan)}}$$

BUHUL E

$$\Sigma V = 0$$

$$-P + S9 \cdot \sin 35^\circ + S7 \cdot \sin 35^\circ - S6 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$-P + (87,108 + 1,742)(0,574) + 0,574S9 - 0,574S6 = 0$$

$$0,574 S9 - 0,574 S6 = -50 \quad \dots(1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S7 \cdot \cos 35^\circ - S6 \cdot \cos 35^\circ - S9 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

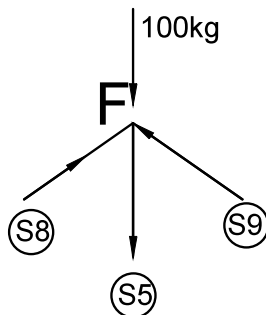
$$-(87,108 + 1,742)(0,819) - 0,819S6 - 0,819S9 = 0$$

$$S9 + S6 = -87,108 - 1,742P \quad \dots(2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$S6 = -0,871P \text{ Kg (tekan)}$$

$$S9 = -87,108 - 0,871P \text{ Kg (tekan)}$$

BUHUL F

$$\Sigma V = 0$$

$$-P_T - S5 + S9 \cdot \sin 35^\circ + S8 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$-100 - S5 + (87,108 + 0,871P)(0,574) + (87,108 + 0,871P)(0,574) = 0$$

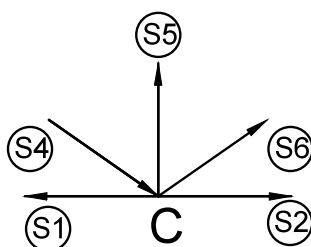
$$S5 = P \text{ Kg (tarik)}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S8 \cdot \cos 35^\circ - S9 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$(87,108 + 0,871P)(0,819) - (87,108 + 0,871P)(0,819) = 0$$

$$0 = 0 \quad \text{(OK)}$$

BUHUL C

$$\Sigma V = 0$$

$$S5 - S4 \cdot \sin 35^\circ - S6 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$P - (0,871P)(0,574) - (0,871P)(0,574) = 0$$

$$0 = 0 \quad \text{(OK)}$$

$$\Sigma H = 0$$

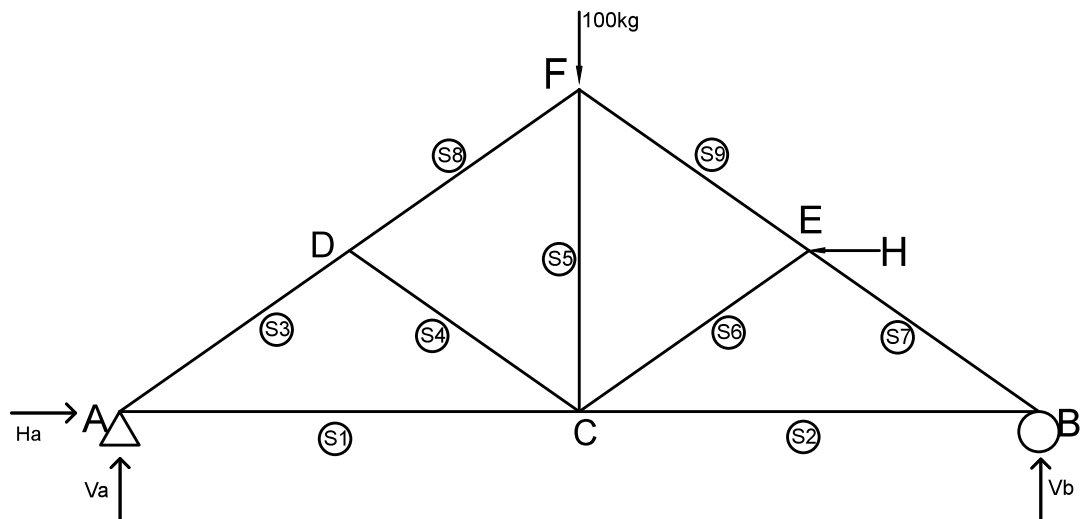
$$-S1 + S2 + S4 \cdot \cos 35^\circ - S6 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$-(71,341 + 1,427P) + (71,341 + 1,427P) +$$

$$(0,871P)(0,819) - (0,871P)(0,819) = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

- Akibat Beban Luar Horizontal



$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_B \cdot 300 + P_T \cdot 150 - H \cdot 52,516 = 0$$

$$V_B = \frac{52,516 H - 15000}{-300}$$

$$V_B = 50 - 0,175H \text{ Kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot 300 - P_T \cdot 150 - H \cdot 52,516 = 0$$

$$V_A = \frac{52,516 H + 15000}{300}$$

$$V_A = 50 + 0,175H \text{ Kg}$$

$$\Sigma V = 0$$

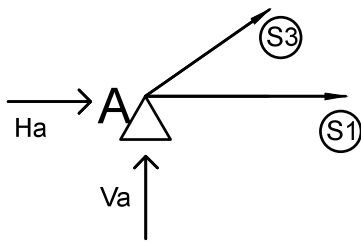
$$V_A + V_B = P_T$$

$$(50 + 0,175H) + (50 - 0,175H) = 100$$

$$100 \text{ Kg} = 100 \text{ Kg} \quad (\text{OK})$$

$$\Sigma H = 0$$

$$H_A = H$$

BUHUL A

$$\Sigma V = 0$$

$$S3 \cdot \sin 35^\circ + V_A = 0$$

$$S3 \cdot 0,574 + 50 + 0,175H = 0$$

$$S3 = \frac{-50 - 0,175H}{0,574}$$

$$\mathbf{S3 = -87,108 - 0,305H \text{ Kg}}$$

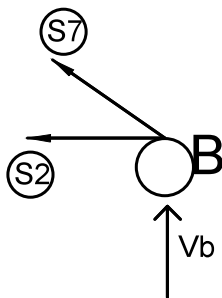
$$\Sigma H = 0$$

$$H_A + S1 - S3 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$H + S1 - (87,108 + 0,305H)(0,819) = 0$$

$$S1 = -H + 71,341 + 0,249H$$

$$\mathbf{S1 = 71,341 - 0,751H \text{ Kg}}$$

BUHUL B

$$\Sigma V = 0$$

$$S7 \cdot \sin 35^\circ + V_B = 0$$

$$S7 \cdot 0,574 + 50 - 0,175H = 0$$

$$S7 = \frac{-50 + 0,175H}{0,574}$$

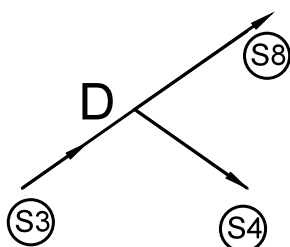
$$\mathbf{S7 = -87,108 + 0,305H \text{ Kg}}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S2 + S7 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$-S2 - (87,108 - 0,305H)(0,819) = 0$$

$$\mathbf{S2 = 71,341 - 0,249H \text{ Kg}}$$

BUHUL D

$$\Sigma V = 0$$

$$S3 \cdot \sin 35^\circ + S8 \cdot \sin 35^\circ - S4 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$(87,108 + 0,305H) \cdot (0,574) + 0,574 \cdot S8 - 0,574 \cdot S4 = 0$$

$$S8 - S4 = -87,108 - 0,305H$$

$$\dots (1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S3.\cos 35^\circ + S4.\cos 35^\circ + S8.\cos 35^\circ = 0$$

$$(87,108 + 0,305H).(0,819) + 0,819.S4 + 0,819.S8 = 0$$

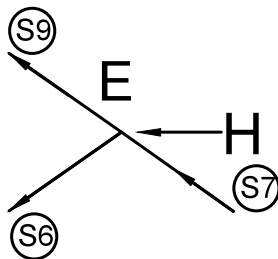
$$S4 + S8 = -87,108 - 0,305H \quad \dots (2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$S4 = 0$$

$$S8 = -87,108 - 0,305H \text{ Kg}$$

### BUHUL E



$$\Sigma V = 0$$

$$S9.\sin 35^\circ + S7.\sin 35^\circ - S6.\sin 35^\circ = 0$$

$$0,574.S9 - 0,574.S6 + (87,108 - 0,305H).(0,574) = 0$$

$$S9 - S6 = -87,108 - 0,305H \quad \dots (1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-H - S7.\cos 35^\circ - S6.\cos 35^\circ - S9.\cos 35^\circ = 0$$

$$-H - (87,108 + 0,305H).(0,819) - 0,819.S6 - 0,819.S9 = 0$$

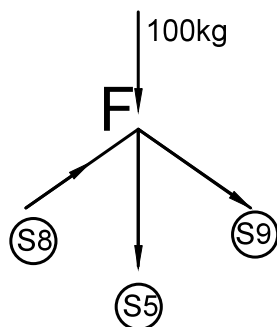
$$-S6 - S9 = 87,108 + 0,917H \quad \dots (2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$S6 = -0,611H \text{ Kg}$$

$$S9 = -87,108 - 0,305H \text{ Kg}$$

### BUHUL F



$$\Sigma V = 0$$

$$-P_T - S5 + S8.\sin 35^\circ + S9.\sin 35^\circ = 0$$

$$-100 - S5 + (87,108 + 0,305H).(0,574) + (87,108 + 0,305H).(0,574) = 0$$

$$S5 = 0,350H$$

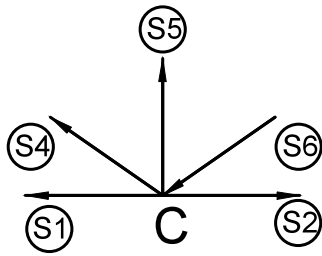
$$\Sigma H = 0$$

$$S8.\cos 35^\circ - S9.\cos 35^\circ = 0$$

$$(87,108 + 0,305H)(0,819) - (87,108 + 0,305H)(0,819) = 0$$

$$71,341 + 0,249H - 71,341 - 0,249H = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

BUHUL C

$$\Sigma V = 0$$

$$S5 + S4 \cdot \sin 35^\circ - S6 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$0,350H - (0,611H) \cdot (0,574) = 0$$

$$0,350H - 0,350H = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S1 + S2 - S4 \cdot \cos 35^\circ - S6 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$-71,341 + 0,751H + 71,341 - 0,249H - (0,611H) \cdot (0,819) = 0$$

$$-71,341 + 0,751H + 71,341 - 0,249H - 0,5H = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

No. Batang	Gaya Batang (Kg)			Keterangan
	Akibat Berat Sendiri	Akibat Beban Luar		
		Vertikal Simetris	Horizontal	
1	61,812	1,427 P + 71,341	71,341 - 0,751 H	Tarik/Tarik/Tekan
2	61,812	1,427 P + 71,341	71,341 - 0, 249 H	Tarik/Tarik/Tekan
3	-75,473	-1,742 P - 87,108	-87,108 - 0,305 H	Tekan
4	-11,4769	-0,871 P	0	Tekan/Tekan/ -
5	52,789	P	0,35 H	Tarik
6	-11,4769	-0,871 P	-0,611 H	Tekan
7	-75,473	-1,742 P - 87,108	-87,108 + 0,305 H	Tekan/Tekan/Tarik
8	-63,9961	-0,871 P - 87,108	-87,108 - 0,305 H	Tekan
9	-63,9961	-0,871 P - 87,108	-87,108 - 0,305 H	Tekan

## d. Beban P Total Maksimum yang Mampu Ditahan

- Beban Vertikal Simetris

1. Tarik terbesar terjadi pada batang 1 atau 2 dengan nilai

$$S1_{\text{TOTAL}} = 61,812 + (1,427 P + 71,341)$$

Sehingga beban P total yang mampu ditahan oleh struktur adalah :

Gaya tarik maksimum pada batang 1

$$1496,7 = 61,812 + 1,427 P + 71,341$$

$$1,427 P = 1496,7 - 61,812 - 71,341$$

$$P_{\max} = \frac{1363,547}{1,427} = 955,534 \text{ Kg}$$

2. Tekan terbesar terjadi pada batang 3 atau 7 dengan nilai

$$S3_{\text{TOTAL}} = 75,473 + (1,742 P + 87,108)$$

Sehingga beban P total yang mampu ditahan oleh struktur adalah :

Gaya tekan maksimum pada batang 3

$$6042,6 = 75,473 + 1,742 P + 87,108$$

$$1,742 P = 6042,6 - 75,473 - 87,108$$

$$P_{\max} = \frac{5880,019}{1,742} = 3375,441 \text{ Kg}$$

$P_{\max}$  untuk beban vertikal simetris diambil yang terkecil yaitu **955,534 Kg**

- Beban Horizontal

1. Tarik terbesar terjadi pada batang 7 dengan nilai

$$S7_{\text{TOTAL}} = -75,473 - (87,108 + 0,305 H)$$

Sehingga beban P total yang mampu ditahan oleh struktur adalah :

Gaya tarik maksimum pada batang 7

$$1496,7 = -75,473 - 87,108 + 0,305 H$$

$$0,305 H = 1496,7 + 75,473 + 87,108$$

$$H_{\max} = \frac{1659,281}{0,305} = 5440,266 \text{ Kg}$$

2. Tekan terbesar terjadi pada batang 2 dengan nilai

$$S2_{\text{TOTAL}} = -61,812 + (-71,341 + 0,249 H)$$

Sehingga beban P total yang mampu ditahan oleh struktur adalah :

Gaya tekan maksimum pada batang 2

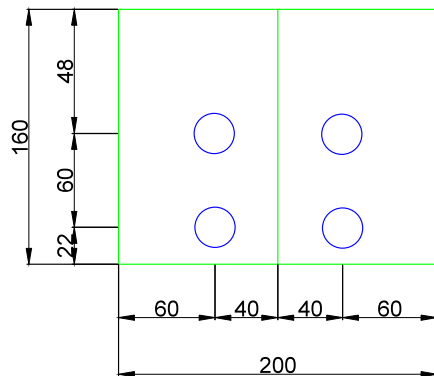
$$6042,6 = -61,812 - 71,341 + 0,249 H$$

$$0,249 H = 6042,6 + 61,812 + 71,341$$

$$H_{\max} = \frac{6175,753}{0,249} = 24802,221 \text{ Kg}$$

$H_{\max}$  untuk beban Horizontal diambil yang terkecil yaitu **5440,266 Kg**

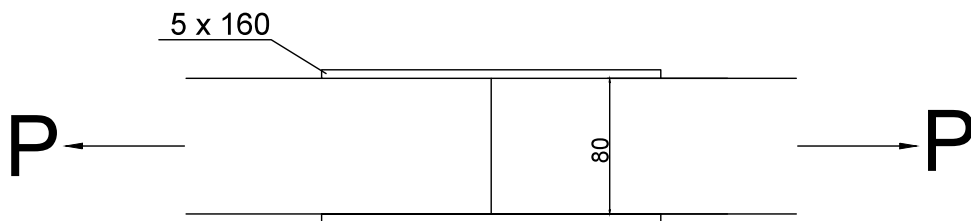
## 7. Perhitungan Kapasitas Tahan Baut dan Pelat



Asumsi mutu baja = BJ 37

 $f_u = 370 \text{ Mpa}$  $f_y = 240 \text{ Mpa}$ 

Tebal Pelat = 5 mm

 $\varnothing \text{ Baut} = 12,7 \text{ mm}$ 

$$A_g = 5 \times 160 = 800 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - n(d+2)(t) \\ &= 800 - 2(12,7 + 2)(5) \\ &= 653 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{n \max} = 0,85 \cdot A_g = 680 \text{ mm}^2$$

$$A_e = A_n = 653 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Leleh} &= \phi \cdot T_n = \phi \cdot f_y \cdot A_g \\ &= (0,9) \cdot (240) \cdot (800) = 172800 \text{ N} = 17,28 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fraktur} &= \phi \cdot T_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e \\ &= (0,75) \cdot (370) \cdot (653) = 181207,5 \text{ N} = 18,121 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dikarenakan sambungan pelat baut direncanakan agar lebih kuat dibandingkan dengan rangka beton, maka gaya yang dipakai dalam menghitung jumlah baut ialah gaya berdasarkan beban maksimum yang mampu ditahan batang yaitu **5440,266 Kg**



**Tinjau tahanan baut :**

$$\begin{aligned}
 \text{Geser} &= R_n = m \cdot f_u^b \cdot r_r \cdot A_b \\
 &= 2.370.0,4.(1/4.\pi.12,7^2) \\
 &= 296 \cdot 126,677 \\
 &= 37496,392 \text{ N/baut} = 3,75 \text{ ton/baut} \\
 \phi.R_n &= 0,75.R_n = 2,8125 \text{ ton/baut}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tarik} &= R_n = 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \\
 &= 0,75.370.(1/4.\pi.12,7^2) \\
 &= 277,5 \cdot 126,677 \\
 &= 35152,868 \text{ N/baut} = 3,515 \text{ ton/baut} \\
 \phi.R_n &= 0,75.R_n = 2,636 \text{ ton/baut}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tumpu} &= R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u^p \\
 &= 2,4 \cdot 12,7 \cdot 5 \cdot 370 \\
 &= 56388 \text{ N/baut} = 5,639 \text{ ton/baut} \\
 \phi.R_n &= 0,75.R_n = 4,229 \text{ ton/baut}
 \end{aligned}$$

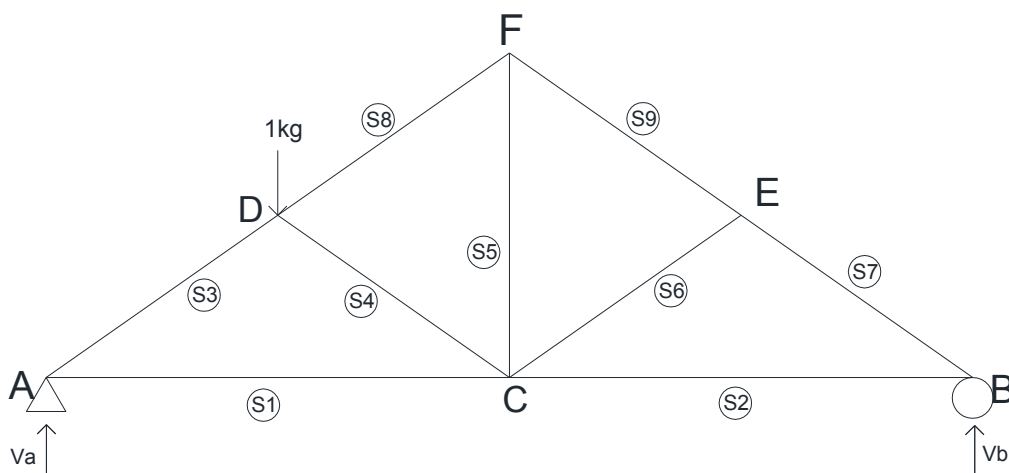
∴ Tahanan tarik menentukan = 2,636 ton/baut

Jumlah baut yang diperlukan =

$$n = \frac{5,44 \text{ ton}}{2,636 \text{ ton/baut}} = 2,064 \text{ baut} \approx 4 \text{ baut}$$

## 8. Perhitungan Deformasi Teoritis Kuda-Kuda

- Beban Vertikal Simetris

**Titik Acuan d1**

$$\Sigma M_A = 0 \qquad \qquad \qquad \Sigma M_B = 0$$

$$-V_B \cdot 300 + (1)(75) = 0 \qquad \qquad \qquad V_A \cdot 300 - (1)(225) = 0$$

$$V_B = \frac{75}{300} \qquad \qquad \qquad V_A = \frac{225}{300}$$

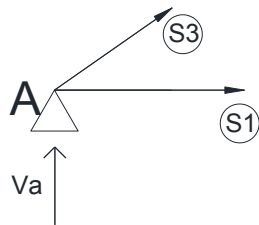
$$V_B = 0,25 \text{ Kg} \qquad \qquad \qquad V_A = 0,75 \text{ Kg}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$V_A + V_B = 1$$

$$0,75 + 0,25 = 1 \text{ Kg}$$

### BUHUL A



$$\Sigma V = 0$$

$$S3 \cdot \sin 35^\circ + V_A = 0$$

$$S3 \cdot 0,574 + 0,75 = 0$$

$$S3 = \frac{0,75}{0,574}$$

$$S3 = -1,307 \text{ Kg (tekan)}$$

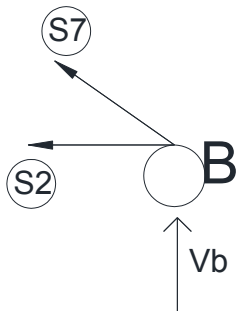
$$\Sigma H = 0$$

$$S1 - S3 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$S1 - (1,307)(0,819) = 0$$

$$S1 = 1,070 \text{ Kg (tarik)}$$

### BUHUL B



$$\Sigma V = 0$$

$$S7 \cdot \sin 35^\circ + V_B = 0$$

$$S7 \cdot 0,574 + 0,25 = 0$$

$$S7 = \frac{0,25}{0,574}$$

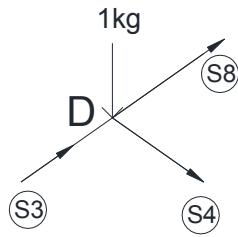
$$S7 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S2 + S7 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$-S2 + (0,436)(0,819) = 0$$

$$S2 = 0,357 \text{ Kg (tarik)}$$

BUHUL D

$$\Sigma V = 0$$

$$S3.\sin 35^0 + S8.\sin 35^0 - S4.\sin 35^0 - 1 = 0$$

$$(1,307).(0,574) + 0,574.S8 - 0,574.S4 - 1 = 0$$

$$0,574 S8 - 0,574 S4 = 0,25 \quad \dots (1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S3.\cos 35^0 + S4.\cos 35^0 + S8.\cos 35^0 = 0$$

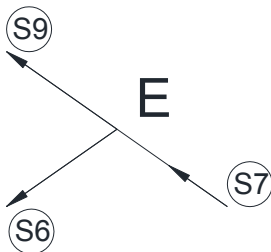
$$(1,307).(0,819) + 0,819.S4 + 0,819.S8 = 0$$

$$S4 + S8 = -1,307 \quad \dots (2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$S4 = -0,871 \text{ Kg (tekan)}$$

$$S8 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}$$

BUHUL E

$$\Sigma V = 0$$

$$S9.\sin 35^0 + S7.\sin 35^0 - S6.\sin 35^0 = 0$$

$$0,574.S9 - 0,574.S6 + (0,436).(0,574) = 0$$

$$S9 - S6 = -0,436 \quad \dots (1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S7.\cos 35^0 - S6.\cos 35^0 - S9.\cos 35^0 = 0$$

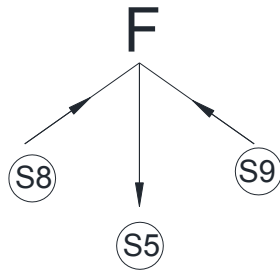
$$- (0,436).(0,819) - 0,819.S6 - 0,819.S9 = 0$$

$$S9 + S6 = -0,436 \quad \dots (2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$S6 = 0 \text{ Kg}$$

$$S9 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}$$

BUHUL F

$$\Sigma V = 0$$

$$-S5 + S8 \cdot \sin 35^\circ + S9 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$-S5 + (0,436) \cdot (0,574) + (0,436) \cdot (0,574) = 0$$

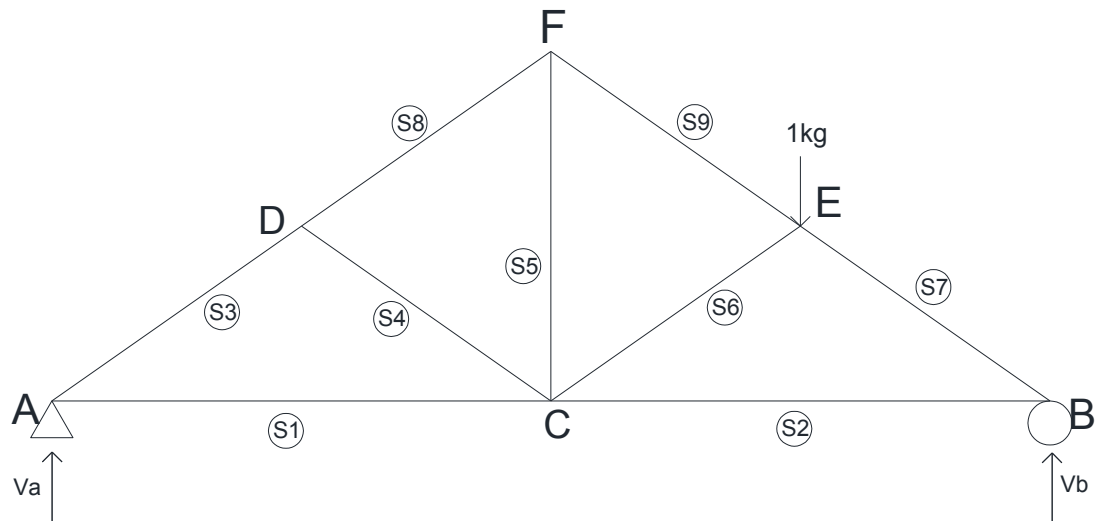
$$\mathbf{S5 = 0,5 \text{ Kg (tarik)}}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S8 \cdot \cos 35^\circ - S9 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$(0,436)(0,819) - (0,436)(0,819) = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

**Titik Acuan d2**

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_B \cdot 300 + (1)(225) = 0$$

$$V_B = \frac{225}{300}$$

$$\mathbf{V_B = 0,75 \text{ Kg}}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot 300 - (1)(75) = 0$$

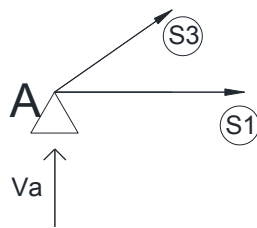
$$V_A = \frac{75}{300}$$

$$\mathbf{V_A = 0,25 \text{ Kg}}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$V_A + V_B = 1$$

$$0,25 + 0,75 = 1 \text{ Kg}$$

BUHUL A

$$\Sigma V = 0$$

$$S3 \cdot \sin 35^\circ + V_A = 0$$

$$S3 \cdot 0,574 + 0,25 = 0$$

$$S3 = \frac{0,25}{0,574}$$

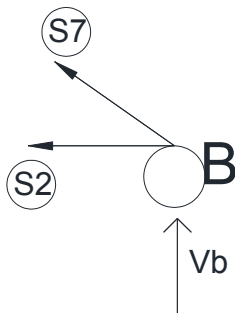
$$\mathbf{S3 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S1 - S3 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$S1 - (0,436)(0,819) = 0$$

$$\mathbf{S1 = 0,357 \text{ Kg (tarik)}}$$

BUHUL B

$$\Sigma V = 0$$

$$S7 \cdot \sin 35^\circ + V_B = 0$$

$$S7 \cdot 0,574 + 0,75 = 0$$

$$S7 = \frac{0,75}{0,574}$$

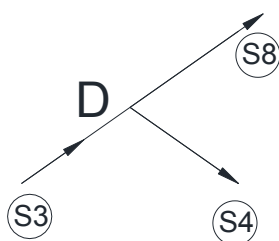
$$\mathbf{S7 = -1,307 \text{ Kg (tekan)}}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S2 + S7 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$-S2 + (1,307)(0,819) = 0$$

$$\mathbf{S2 = 1,070 \text{ Kg (tarik)}}$$

BUHUL D

$$\Sigma V = 0$$

$$S3 \cdot \sin 35^\circ + S8 \cdot \sin 35^\circ - S4 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$(0,436) \cdot (0,574) + 0,574 \cdot S8 - 0,574 \cdot S4 = 0$$

$$S8 - S4 = -0,436 \quad \dots (1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S3.\cos 35^\circ + S4.\cos 35^\circ + S8.\cos 35^\circ = 0$$

$$(0,436).(0,819) + 0,819.S4 + 0,819.S8 = 0$$

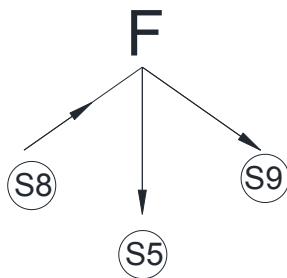
$$S4 + S8 = 0,436 \quad \dots (2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$S4 = 0$$

$$S8 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}$$

### BUHUL F



$$\Sigma H = 0$$

$$S8.\cos 35^\circ + S9.\cos 35^\circ = 0$$

$$(0,436)(0,819) - 0,819S9 = 0$$

$$S9 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}$$

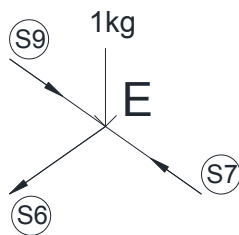
$$\Sigma V = 0$$

$$-S5 + S8.\sin 35^\circ + S9.\sin 35^\circ = 0$$

$$-S5 + (0,436).(0,574) + (0,436).(0,574) = 0$$

$$S5 = 0,5 \text{ Kg (tarik)}$$

### BUHUL E



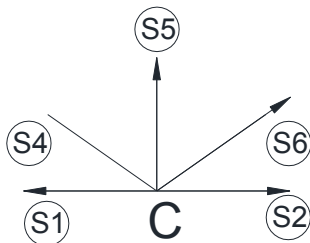
$$\Sigma V = 0$$

$$-S9.\sin 35^\circ + S7.\sin 35^\circ - S6.\sin 35^\circ - 1 = 0$$

$$-(0,436)(0,574) - 0,574.S6 + (1,307).(0,574) - 1 = 0$$

$$S6 = -0,871 \text{ Kg (tekan)}$$

### BUHUL C



$$\Sigma V = 0$$

$$S5 + S4.\sin 35^\circ - S6.\sin 35^\circ = 0$$

$$0,5 - (0,871).(0,574) = 0$$

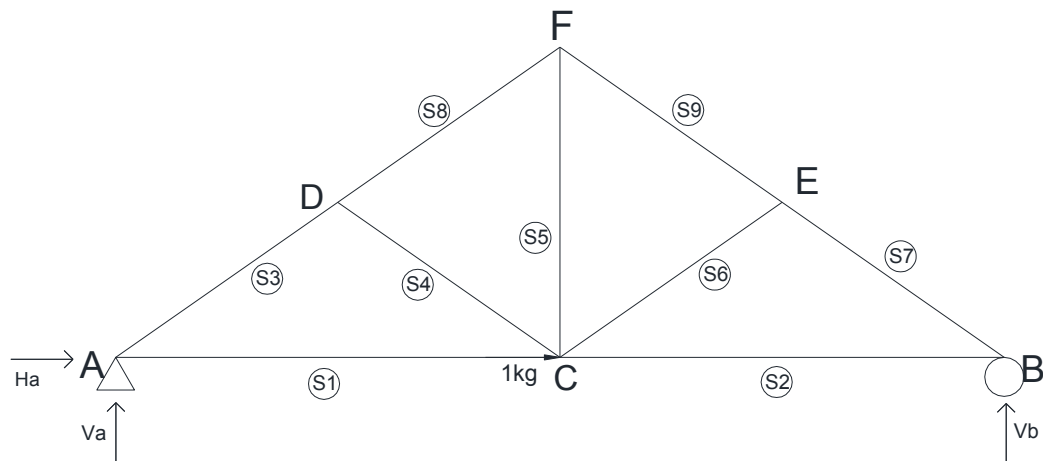
$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S1 + S2 - S4.\cos 35^\circ - S6.\cos 35^\circ = 0$$

$$-0,357 + 1,070 - (0,871)(0,819) = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

**Titik Acuan d3**

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_B \cdot 300 = 0$$

$$V_B = 0 \text{ Kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot 300 = 0$$

$$V_A = 0 \text{ Kg}$$

$$\Sigma V = 0$$

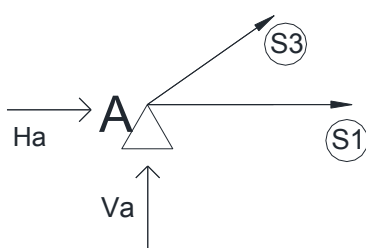
$$V_A + V_B = 0$$

$$0 + 0 = 0 \text{ Kg}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$H_A + 1 = 0$$

$$H_A = -1 \text{ Kg}$$

**BUHUL A**

$$\Sigma V = 0$$

$$S_3 \cdot \sin 35^\circ + V_A = 0$$

$$S_3 \cdot 0,574 + 0 = 0$$

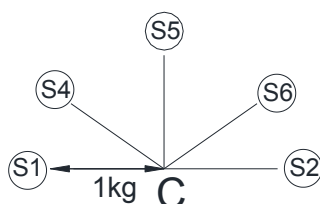
$$S_3 = 0$$

$$\Sigma H = 0$$

$$H_A + S_1 + S_3 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$S_1 - 1 = 0$$

$$S_1 = 1 \text{ Kg (tarik)}$$

**BUHUL C**

$$\Sigma H = 0$$

$$-S_1 + 1 = 0$$

$$-1 + 1 = 0$$

$$0 = 0$$

(OK)

No. Batang	d1		d2		d3	
	Gaya Batang (kg)	Keterangan	Gaya Batang (kg)	Keterangan	Gaya Batang (kg)	Keterangan
S1	1,07	tarik	0,357	tarik	1	tarik
S2	0,357	tarik	1,07	tarik	0	-
S3	-1,307	tekan	-0,436	tekan	0	-
S4	-0,871	tekan	0	-	0	-
S5	0,5	tarik	0,5	tarik	0	-
S6	0	-	-0,871	tekan	0	-
S7	-0,436	tekan	-1,307	tekan	0	-
S8	-0,436	tekan	-0,436	tekan	0	-
S9	-0,436	tekan	-0,436	tekan	0	-

### Tabel Unit Load Beban Vertikal Simetris

Kode Benda Uji = Vertikal Simetris

Kuat Tekan Beton =  $f'_c = 10.8 \text{ Mpa}$

$$\text{Elastisitas Benda Uji} = E_c = W_c^{1,5} (0,043) \sqrt{f'_c} = 12346,812 \text{ MPa}$$

Luas Penampang Benda Uji = A = 6400 mm<sup>2</sup>

Beban Elastis Benda Uji =  $P_e = 300 \text{ Kg}$

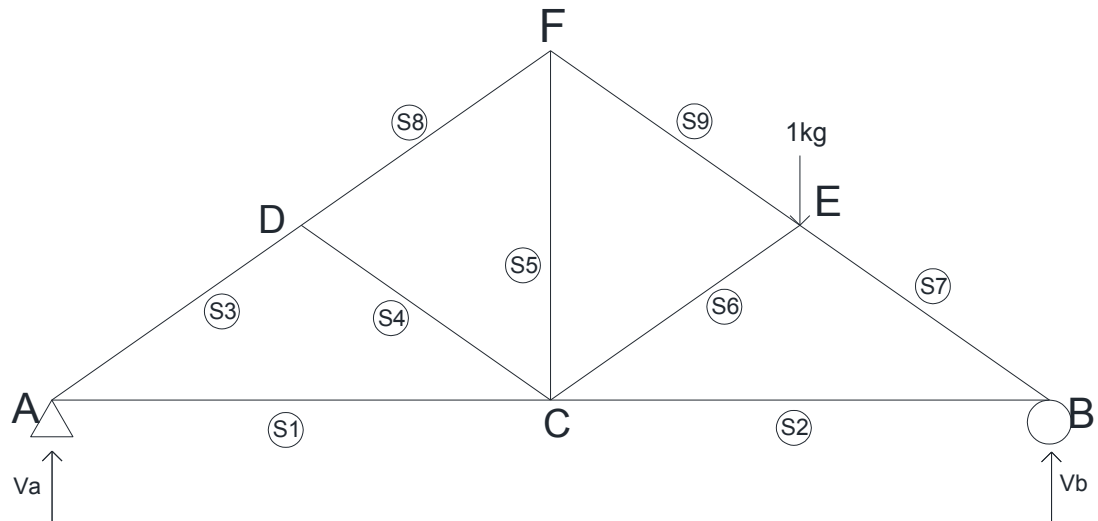
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
No Batang	S (kg)		L	A . E	$\Delta L = [(2)+(3)].(4)/(5)$	Vertikal	
	Berat Sendiri	Beban Luar	mm	Kg	mm	S'dl (Kg)	$\Delta d1 = (6).(7) (mm)$
1	61.812	499.441	1500	7901960.179	0.1065	1.07	0.1140
2	61.812	499.441	1500	7901960.179	0.1065	0.357	0.0380
3	-75.473	-609.708	822.5	7901960.179	-0.0713	-1.307	0.0932
4	-11.4769	-261.3	637.4	7901960.179	-0.0220	-0.871	0.0192
5	52.7891	300	1009.3	15803920.36	0.0225	0.5	0.0113
6	-11.4769	-261.3	637.4	7901960.179	-0.0220	0	0.0000
7	-75.473	-609.708	822.5	7901960.179	-0.0713	-0.436	0.0311
8	-63.991	-348.408	633.3	7901960.179	-0.0331	-0.436	0.0144
9	-63.991	-348.408	633.3	7901960.179	-0.0331	-0.436	0.0144
						TOTAL	0.3356





- Beban Horizontal

### Titik Acuan d1



$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_B \cdot 300 + (1)(225) = 0$$

$$V_B = \frac{225}{300}$$

$$V_B = 0,75 \text{ Kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot 300 - (1)(75) = 0$$

$$V_A = \frac{75}{300}$$

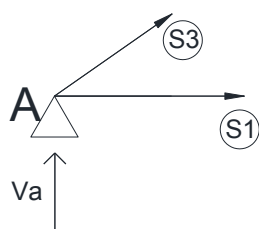
$$V_A = 0,25 \text{ Kg}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$V_A + V_B = 1$$

$$0,25 + 0,75 = 1 \text{ Kg}$$

### BUHUL A



$$\Sigma V = 0$$

$$S_3 \cdot \sin 35^\circ + V_A = 0$$

$$S_3 \cdot 0,574 + 0,25 = 0$$

$$S_3 = \frac{0,25}{0,574}$$

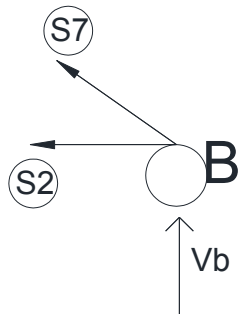
$$S_3 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S_1 - S_3 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$S_1 - (0,436)(0,819) = 0$$

$$S_1 = 0,357 \text{ Kg (tarik)}$$

BUHUL B

$$\Sigma V = 0$$

$$S7 \cdot \sin 35^\circ + V_B = 0$$

$$S7 \cdot 0,574 + 0,75 = 0$$

$$S7 = \frac{0,75}{0,574}$$

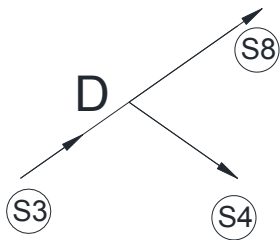
$$\mathbf{S7 = -1,307 \text{ Kg (tekan)}}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S2 + S7 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$-S2 + (1,307)(0,819) = 0$$

$$\mathbf{S2 = 1,070 \text{ Kg (tarik)}}$$

BUHUL D

$$\Sigma V = 0$$

$$S3 \cdot \sin 35^\circ + S8 \cdot \sin 35^\circ - S4 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$(0,436) \cdot (0,574) + 0,574 \cdot S8 - 0,574 \cdot S4 = 0$$

$$S8 - S4 = -0,436 \quad \dots (1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S3 \cdot \cos 35^\circ + S4 \cdot \cos 35^\circ + S8 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

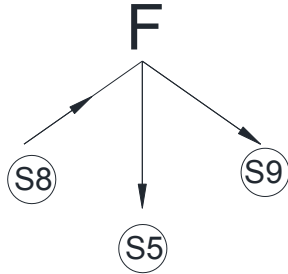
$$(0,436) \cdot (0,819) + 0,819 \cdot S4 + 0,819 \cdot S8 = 0$$

$$S4 + S8 = 0,436 \quad \dots (2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$\mathbf{S4 = 0}$$

$$\mathbf{S8 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}}$$

BUHUL F

$$\Sigma H = 0$$

$$S8 \cdot \cos 35^\circ + S9 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$(0,436)(0,819) - 0,819S9 = 0$$

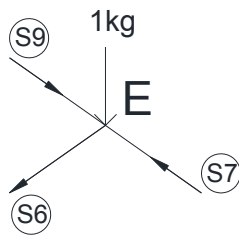
$$S9 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$-S5 + S8 \cdot \sin 35^\circ + S9 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$-S5 + (0,436) \cdot (0,574) + (0,436) \cdot (0,574) = 0$$

$$S5 = 0,5 \text{ Kg (tarik)}$$

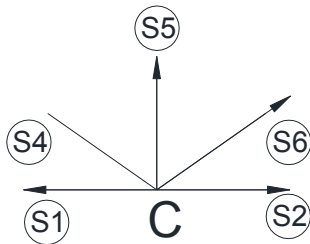
BUHUL E

$$\Sigma V = 0$$

$$-S9 \cdot \sin 35^\circ + S7 \cdot \sin 35^\circ - S6 \cdot \sin 35^\circ - 1 = 0$$

$$-(0,436)(0,574) - 0,574 \cdot S6 + (1,307) \cdot (0,574) - 1 = 0$$

$$S6 = -0,871 \text{ Kg (tekan)}$$

BUHUL C

$$\Sigma V = 0$$

$$S5 + S4 \cdot \sin 35^\circ - S6 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$0,5 - (0,871) \cdot (0,574) = 0$$

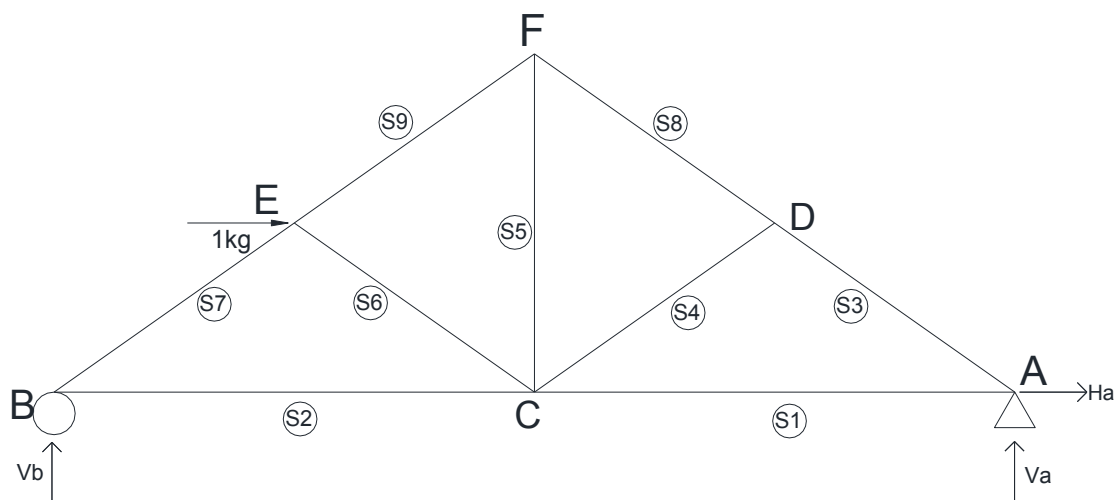
$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S1 + S2 - S4 \cdot \cos 35^\circ - S6 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$-0,357 + 1,070 - (0,871)(0,819) = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

**Titik Acuan d2**

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_B \cdot 300 + (1)(52,516) = 0$$

$$V_B = \frac{52,516}{-300}$$

$$V_B = -0,175 \text{ Kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot 300 - (1)(52,516) = 0$$

$$V_A = \frac{52,516}{300}$$

$$V_A = 0,175 \text{ Kg}$$

$$\Sigma V = 0$$

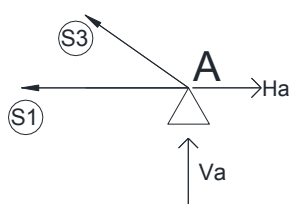
$$V_A + V_B = 1$$

$$0,175 - 0,175 = 1 \text{ Kg}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$H_A + 1 = 0$$

$$H_A = -1 \text{ Kg}$$

**BUHUL A**

$$\Sigma V = 0$$

$$S_3 \cdot \sin 35^\circ + V_A = 0$$

$$S_3 \cdot 0,574 + 0,175 = 0$$

$$S_3 = \frac{0,175}{0,574}$$

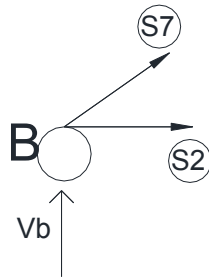
$$S_3 = -0,305 \text{ Kg (tekan)}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S_1 + S_3 \cdot \cos 35^\circ - H_A = 0$$

$$-S_1 + (0,305)(0,819) - 1 = 0$$

$$S_1 = -0,75 \text{ Kg (tekan)}$$

BUHUL B

$$\Sigma V = 0$$

$$S7 \cdot \sin 35^\circ - V_B = 0$$

$$S7 \cdot 0,574 - 0,175 = 0$$

$$S7 = \frac{0,175}{0,574}$$

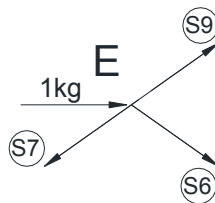
$$\mathbf{S7 = 0,305 \text{ Kg (tarik)}}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S2 + S7 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$S2 + (0,305)(0,819) = 0$$

$$\mathbf{S2 = -0,25 \text{ Kg (tekan)}}$$

BUHUL E

$$\Sigma V = 0$$

$$-S7 \cdot \sin 35^\circ - S6 \cdot \sin 35^\circ + S9 \cdot \sin 35^\circ = 0$$

$$-(0,305) \cdot (0,574) - 0,574 \cdot S6 + 0,574 \cdot S9 = 0$$

$$S6 - S9 = -0,305 \quad \dots (1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S7 \cdot \cos 35^\circ + S6 \cdot \cos 35^\circ + S9 \cdot \cos 35^\circ + 1 = 0$$

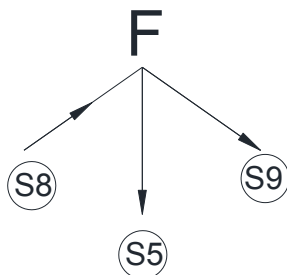
$$-(0,305) \cdot (0,819) + 0,819 \cdot S6 + 0,819 \cdot S9 + 1 = 0$$

$$S6 + S9 = -0,916 \quad \dots (2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$\mathbf{S6 = -0,61 \text{ Kg (tekan)}}$$

$$\mathbf{S9 = -0,305 \text{ Kg (tekan)}}$$

BUHUL F

$$\Sigma H = 0$$

$$S8 \cdot \cos 35^\circ + S9 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$(0,305)(0,819) + 0,819 S8 = 0$$

$$\mathbf{S8 = -0,305 \text{ Kg (tekan)}}$$

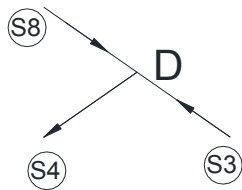
$$\Sigma V = 0$$

$$-S5 + S8.\sin 35^\circ + S9.\sin 35^\circ = 0$$

$$-S5 + (0,305).(0,574) + (0,305).(0,574) = 0$$

$$\mathbf{S5 = 0,35 \text{ Kg (tarik)}}$$

### BUHUL D



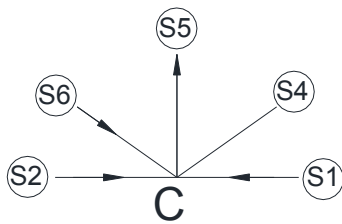
$$\Sigma V = 0$$

$$S3.\sin 35^\circ - S8.\sin 35^\circ - S4.\sin 35^\circ = 0$$

$$(0,305).(0,574) - (0,305)(0,574) - 0,574.S4 = 0$$

$$\mathbf{S4 = 0}$$

### BUHUL C



$$\Sigma V = 0$$

$$S5 + S4.\sin 35^\circ - S6.\sin 35^\circ = 0$$

$$0,35 - (0,61).(0,574) = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

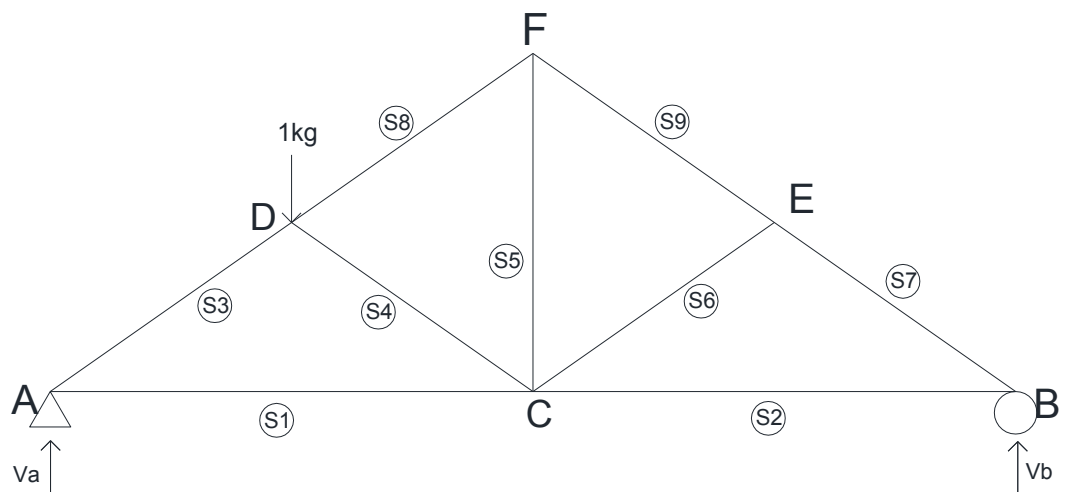
$$\Sigma H = 0$$

$$-S1 + S2 - S4.\cos 35^\circ + S6.\cos 35^\circ = 0$$

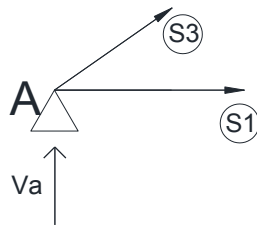
$$-0,75 + 0,25 + (0,61)(0,819) = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

### **Titik Acuan d3**

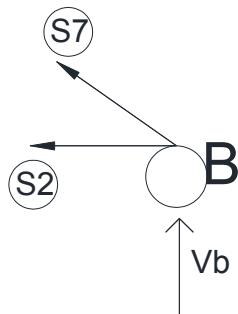


$$\begin{aligned}
 \Sigma M_A &= 0 & \Sigma M_B &= 0 \\
 -V_B \cdot 300 + (1)(75) &= 0 & V_A \cdot 300 - (1)(225) &= 0 \\
 V_B &= \frac{75}{300} & V_A &= \frac{225}{300} \\
 \mathbf{V_B} &= \mathbf{0,25 \text{ Kg}} & \mathbf{V_A} &= \mathbf{0,75 \text{ Kg}} \\
 \Sigma V &= 0 \\
 V_A + V_B &= 1 \\
 0,75 + 0,25 &= 1 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

BUHUL A

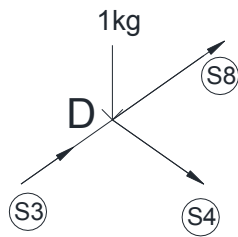
$$\begin{aligned}
 \Sigma V &= 0 \\
 S3 \cdot \sin 35^\circ + V_A &= 0 \\
 S3 \cdot 0,574 + 0,75 &= 0 \\
 S3 &= \frac{0,75}{0,574} \\
 \mathbf{S3} &= \mathbf{-1,307 \text{ Kg (tekan)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma H &= 0 \\
 S1 - S3 \cdot \cos 35^\circ &= 0 \\
 S1 - (1,307)(0,819) &= 0 \\
 \mathbf{S1} &= \mathbf{1,070 \text{ Kg (tarik)}}
 \end{aligned}$$

BUHUL B

$$\begin{aligned}
 \Sigma V &= 0 \\
 S7 \cdot \sin 35^\circ + V_B &= 0 \\
 S7 \cdot 0,574 + 0,25 &= 0 \\
 S7 &= \frac{0,25}{0,574} \\
 \mathbf{S7} &= \mathbf{-0,436 \text{ Kg (tekan)}} \\
 \Sigma H &= 0 \\
 -S2 + S7 \cdot \cos 35^\circ &= 0 \\
 -S2 + (0,436)(0,819) &= 0 \\
 \mathbf{S2} &= \mathbf{0,357 \text{ Kg (tarik)}}
 \end{aligned}$$



BUHUL D

$$\Sigma V = 0$$

$$S3.\sin 35^0 + S8.\sin 35^0 - S4.\sin 35^0 - 1 = 0$$

$$(1,307).(0,574) + 0,574.S8 - 0,574.S4 - 1 = 0$$

$$0,574 S8 - 0,574 S4 = 0,25 \quad \dots (1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S3.\cos 35^0 + S4.\cos 35^0 + S8.\cos 35^0 = 0$$

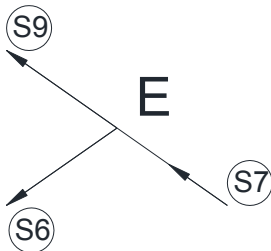
$$(1,307).(0,819) + 0,819.S4 + 0,819.S8 = 0$$

$$S4 + S8 = -1,307 \quad \dots (2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$S4 = -0,871 \text{ Kg (tekan)}$$

$$S8 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}$$

BUHUL E

$$\Sigma V = 0$$

$$S9.\sin 35^0 + S7.\sin 35^0 - S6.\sin 35^0 = 0$$

$$0,574.S9 - 0,574.S6 + (0,436).(0,574) = 0$$

$$S9 - S6 = -0,436 \quad \dots (1)$$

$$\Sigma H = 0$$

$$-S7.\cos 35^0 - S6.\cos 35^0 - S9.\cos 35^0 = 0$$

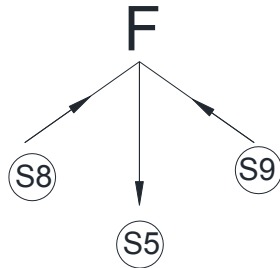
$$-(0,436).(0,819) - 0,819.S6 - 0,819.S9 = 0$$

$$S9 + S6 = -0,436 \quad \dots (2)$$

Eliminasi (1) dan (2), didapatkan

$$S6 = 0 \text{ Kg}$$

$$S9 = -0,436 \text{ Kg (tekan)}$$

BUHUL F

$$\Sigma V = 0$$

$$-S5 + S8 \sin 35^\circ + S9 \sin 35^\circ = 0$$

$$-S5 + (0,436)(0,574) + (0,436)(0,574) = 0$$

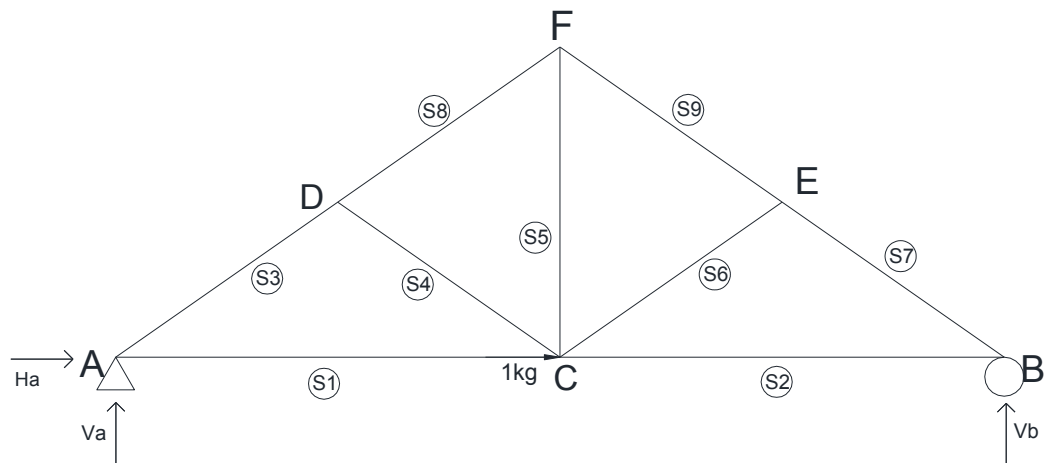
$$S5 = 0,5 \text{ Kg (tarik)}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$S8 \cos 35^\circ - S9 \cos 35^\circ = 0$$

$$(0,436)(0,819) - (0,436)(0,819) = 0$$

$$0 = 0 \quad (\text{OK})$$

**Titik Acuan d4**

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_B \cdot 300 = 0$$

$$V_B = 0 \text{ Kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot 300 = 0$$

$$V_A = 0 \text{ Kg}$$

$$\Sigma V = 0$$

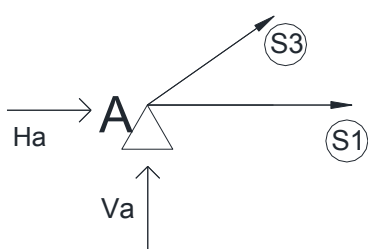
$$V_A + V_B = 0$$

$$0 + 0 = \text{Kg}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$H_A + 1 = 0$$

$$H_A = -1 \text{ Kg}$$

BUHUL A

$$\Sigma V = 0$$

$$S3 \cdot \sin 35^\circ + V_A = 0$$

$$S3 \cdot 0,574 + 0 = 0$$

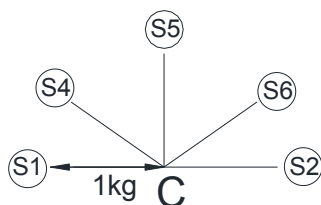
$$\mathbf{S3 = 0}$$

$$\Sigma H = 0$$

$$H_A + S1 + S3 \cdot \cos 35^\circ = 0$$

$$S1 - 1 = 0$$

$$\mathbf{S1 = 1 \text{ Kg (tarik)}}$$

BUHUL C

$$\Sigma H = 0$$

$$-S1 + 1 = 0$$

$$-1 + 1 = 0$$

$$0 = 0$$

(OK)

No Batang	d1		d2		d3		d4	
	Gaya Batang (kg)	Ket.	Gaya Batang (kg)	Ket.	Gaya Batang (kg)	Ket.	Gaya Batang (kg)	Ket.
S1	0,357	tarik	-0,75	tekan	1,07	tarik	1	tarik
S2	1,07	tarik	-0,25	tekan	0,357	tarik	0	-
S3	-0,436	tekan	-0,305	tekan	-1,307	tekan	0	-
S4	0	-	0	-	-0,871	tekan	0	-
S5	0,5	tarik	0,35	tarik	0,5	tarik	0	-
S6	-0,871	tekan	-0,61	tekan	0	-	0	-
S7	-1,307	tekan	0,305	tarik	-0,436	tekan	0	-
S8	-0,436	tekan	-0,305	tekan	-0,436	tekan	0	-
S9	-0,436	tekan	-0,305	tekan	-0,436	tekan	0	-

Tabel Unit Load Beban Horizontal

Kode Benda Uji = Horizontal

Kuat Tekan Beton =  $f'_c = 10.8 \text{ Mpa}$ Elastisitas Benda Uji =  $E_c = W_c^{1,5} (0,043) \sqrt{f'_c} = 12346,812 \text{ MPa}$ Luas Penampang Benda Uji =  $A = 6400 \text{ mm}^2$ Beban Elastis Benda Uji =  $P_e = 500 \text{ Kg}$













